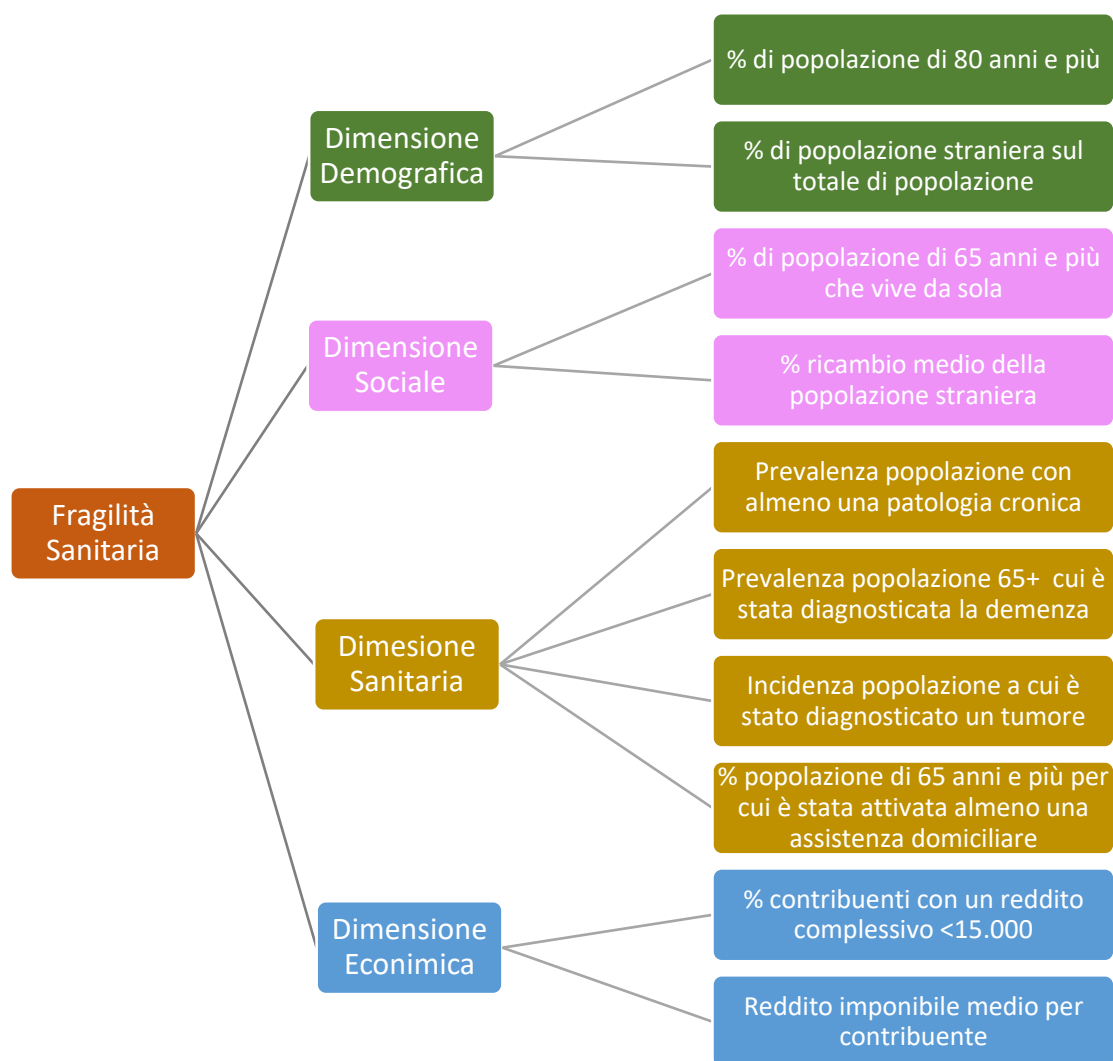


Indice di Fragilità sanitaria: applicazione della metodologia AMPI

Il concetto di fragilità sanitaria è un fenomeno multidimensionale non direttamente misurabile. Tuttavia è ormai consuetudine rilevare sia in ambito sanitario e non solo (demografo, sociale, economico, ecc.) indicatori che misurano aspetti che possono essere visti come “causa” della fragilità. Possiamo quindi pensare alla fragilità come ad una variabile latente, che dipende da diversi fattori, misurabile tramite la tecnica del calcolo degli indici compositi¹. Nello specifico abbiamo utilizzato il metodo AMPI²(Adjusted Mazziotta-Pareto Index).

Sulla base delle loro rilevanza, disponibilità, tempestività e validità abbiamo individuato 10 indicatori elementari che potrebbero essere trattati come “variabili causali” del fenomeno fragilità sanitaria.

Figura 1. Schema concettuale del fenomeno oggetto in studio



In letteratura esistono diversi metodi di aggregazione di indicatori elementari che permettono il calcolo di un indicatore composito; la nostra scelta è ricaduta sul metodo AMPI essenzialmente per 3 motivi:

- Metodologia già validata dalla regione Emilia-Romagna. Presso il servizio *Settore innovazione digitale, dati, tecnologia e polo archivistico Area Statistica* dal 2020 è stato messo a punto questa metodologia per la produzione del seguente report: *La potenziale fragilità demografica, sociale ed economica nei comuni della regione Emilia-Romagna*³
- Nostro obiettivo è misurare come si modifica la fragilità sanitaria con passare degli anni; il metodo AMPI consente di misurare le variazioni assolute nei valori delle unità rispetto ad una base e dei goalposts prefissati che rimangono costanti nel tempo.
- Il metodo AMPI si basa su una funzione non lineare che risulta essere robusta quando, come nel nostro caso, l'insieme degli indicatori elementari sono considerati non (completamente) sostituibili quindi non correlati fra loro.

L'AMPI⁴, proposto nell'ambito del Progetto BES⁵, è un indice composito non lineare che, partendo da una media aritmetica, introduce una penalità per le unità con valori sbilanciati degli indicatori. Si compone di due parti (una misura del livello medio e una misura dell'entità dello squilibrio) e, a differenza di altri metodi, può essere utilizzato per costruire indici composti sia "positivi" che "negativi".

La costruzione di un indice composito si realizza attraverso 3 fasi:

1. *Normalizzazione*. La normalizzazione permette di confrontare indicatori elementari espressi in unità di misura differenti. Lo scopo è quello trasformare gli indicatori elementari in numeri adimensionali.
2. *Il trattamento della polarità*. La polarità (o 'verso') di un indicatore elementare è il segno della relazione tra l'indicatore e il fenomeno da misurare (per es., nella costruzione di un indice sintetico di sviluppo, la "speranza di vita" ha polarità positiva, mentre la "mortalità infantile" ha polarità negativa). Per la costruzione di un indice sintetico tutti gli indicatori devono avere polarità positiva; quindi è necessario, tramite delle trasformazioni lineari o non-lineari invertire il segno per gli indicatori elementari con polarità negativa.
3. *L'aggregazione*. L'aggregazione è la combinazione di tutte le componenti al fine di creare un solo indice composito. Prevedere la definizione dell'importanza di ogni indicatore elementare (sistema di pesi) e la scelta della tecnica di sintesi.

Metodo AMPI

La normalizzazione degli indicatori elementari avviene tramite il metodo min-max.

Data la matrice $\mathbf{X}=\{x_{ijt}\}$ di n righe (unità statistiche), m colonne (indicatori) e p strati (anni), si calcola la matrice trasformata $\mathbf{R}=\{r_{ijt}\}$, con:

$$r_{ijt} = \begin{cases} \frac{(x_{ijt} - \text{Min}_{x_{jt}})}{(\text{Max}_{x_{jt}} - \text{Min}_{x_{jt}})} 60 + 70 & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità positiva;} \\ \frac{(\text{Max}_{x_{jt}} - x_{ijt})}{(\text{Max}_{x_{jt}} - \text{Min}_{x_{jt}})} 60 + 70 & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità negativa;} \end{cases}$$

dove $\text{Min}_{x_{jt}}$ e $\text{Max}_{x_{jt}}$ sono, rispettivamente, il minimo e il massimo del "goalposts" dell'indicatore j , tra le n unità statistiche, nei p anni considerati o dei valori forniti dall'esterno. Tali valori possono essere calcolati in modo da porre uguale a 100 un valore di riferimento (ES. la media nazionale nell'anno base).

Siano Inf_{x_j} e Sup_{x_j} il minimo e il massimo complessivi dell'indicatore j per tutte le unità e tutti i periodi temporali considerati. Dato Ref_{x_j} il valore di riferimento per l'indicatore j , definiamo:

$$\begin{cases} \text{Min}_{x_j} = \text{Ref}_{x_j} - \Delta \\ \text{Max}_{x_j} = \text{Ref}_{x_j} + \Delta \end{cases}$$

Dove $\Delta = (\text{Sup}_{x_j} - \text{Inf}_{x_j})/2$. Il valore normalizzato sarà compreso all'incirca fra 70 e 130, dove 100 rappresenta il valore di riferimento.

L'indice sintetico, per l'unità j al tempo t è dato dalla seguente formula:

$$\text{AMPI}_i^{+/-} = M_{r_i} \pm S_{r_i} \text{cv}_i$$

$$\text{dove } M_{r_i} = \frac{\sum_{j=1}^m r_{ijt}}{m}; S_{r_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (r_{ijt} - M_{r_i})^2}{m}}; \text{cv}_{it} = \frac{S_{r_i}}{M_{r_i}}.$$

Il fattore correttivo $S_{r_i} \text{cv}_i$ (coefficiente di penalità) è una funzione della variabilità degli indicatori rispetto al valore medio ("variabilità orizzontale") che penalizza lo squilibrio degli indicatori fra le unità. Lo scopo è quello di premiare le unità che, a parità di condizioni, presentano un maggiore equilibrio tra gli indicatori valori.

Il segno $+/-$ nella formula del calcolo del AMPI indica quale penalizzazione deve essere utilizzata.

Se l'indice composito è "positivo", cioè se a variazioni crescenti dell'indice corrispondono a variazioni positive del fenomeno (es. sviluppo socio-economico), allora deve essere utilizzata una penalizzazione verso il basso e si utilizza AMPI^- (maggiore è lo squilibrio e minore dovrà essere il punteggio dell'unità). Al contrario, se l'indice composito è "negativo", cioè a variazioni crescenti dell'indice corrisponde un peggioramento del fenomeno (es. povertà), allora si utilizza AMPI^+ e quindi applicata una penalizzazione verso l'alto (maggiore è lo squilibrio e maggiore dovrà essere il punteggio dell'unità).

L'indice di fragilità sanitaria nei comuni della provincia di Modena

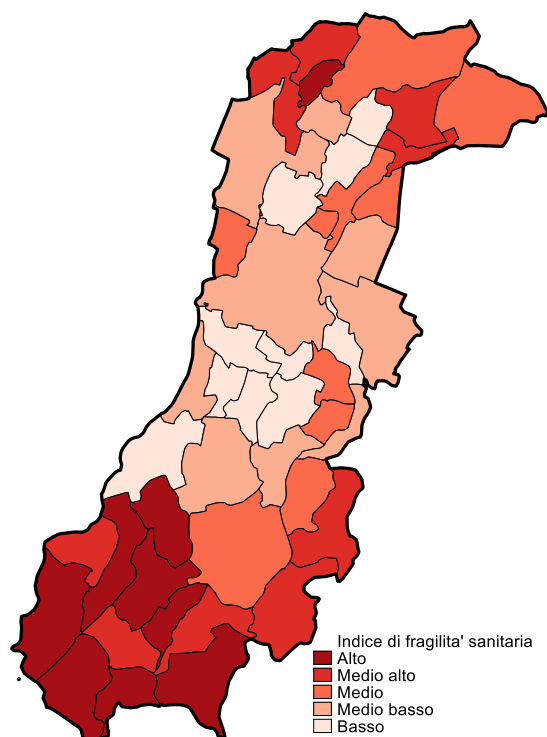
L'indice di fragilità sanitaria, per i comuni della provincia di Modena, viene costruito per l'anno 2018 e 2023 applicando il metodo AMPI⁺ ai seguenti indicatori (tutti gli indicatori elementari hanno polarità positiva tranne il reddito medio):

- % di popolazione di 80 anni e più
- % di popolazione straniera sul totale di popolazione
- % di popolazione di 65 anni e più che vive da sola
- % ricambio medio della popolazione straniera
- Popolazione con almeno una patologia cronica (Prevalenza ‰)
- % popolazione di 65 anni e più per cui è stata attivata almeno una assistenza domiciliare (fra medica, cure palliative e infermieristica)
- Popolazione a cui è stato diagnosticato un tumore nel periodo 2017-2021 (Incidenza ‰)
- Popolazione di 65 anni e più a cui è stata diagnosticata la demenza (Prevalenza ‰)
- % contribuenti con un reddito complessivo <15.000 euro sul totale dei contribuenti
- Reddito imponibile medio per contribuente

La potenziale fragilità sanitaria è intesa in termini assoluti rispetto alla distribuzione di ciascun indice comunale rispetto a tutti gli altri comuni. Come valore di riferimento, per il calcolo dell'indicatore sintetico è stato utilizzato il valore di ciascun indicatore elementare della provincia di Modena rispettivamente al 2018 e al 2023.

Figura 2. *Indice composito di fragilità sanitaria per i comuni della provincia di Modena*

Anno 2018



Anno 2023

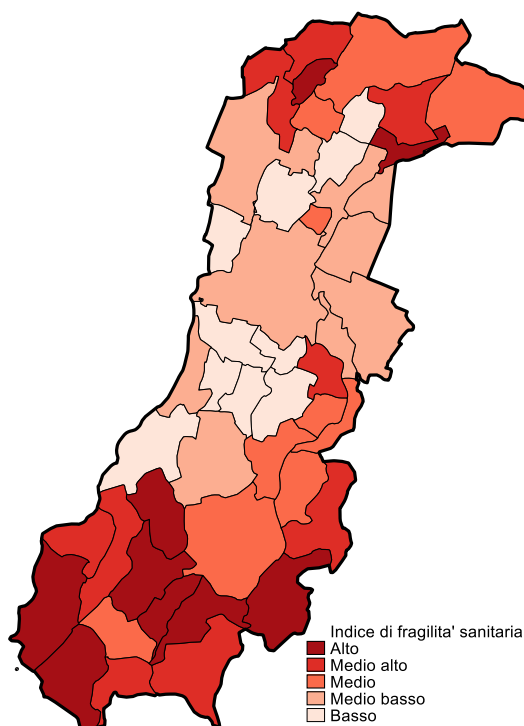


Tabella 1. Indicatori elementari e indice composito di fragilità sanitaria – Anno 2018

Comune di Residenza	Indice di fragilità sanitaria	Indicatori analitici									Reddito imponibile medio
		% popolazione anziana over 80	% popolazione straniera	% famiglie unipersonali over 65	% ricambio medio della popolazione straniera	Prevalenza % patologie croniche	Prevalenza % Soggetti over 65 affetti da demenza	Incidenza tumori TS %	Prevalenza % Soggetti assistiti in ADI over 65	% Contribuenti con reddito <15.000	
BASTIGLIA	105,5	5,5	13,6	24,4	16,73	255,1	112,2	5,8	11,3	31,7	21.112,10
BOMPORTO	101,9	5,0	10,1	24,7	12,51	253,7	87,3	5,7	11,3	33,2	20.273,90
CAMPOGALLIANO	101,6	6,1	12,3	23,7	15,18	255,4	94,1	5,9	8,2	33,8	20.822,20
CAMPOSANTO	110,8	7,5	17,1	23,8	21,40	275,0	65,7	6,2	8,1	34,9	20.119,10
CARPI	100,1	7,2	14,5	26,5	10,75	243,6	88,7	5,6	6,3	35,9	20.618,50
CASTELFRANCO EMILIA	100,6	6,6	13,3	25,0	14,49	249,6	78,9	5,6	9,2	33,4	20.838,80
CASTELNUOVO RANGONE	90,2	6,1	12,2	22,4	15,04	246,0	63,0	5,3	5,5	29,7	25.093,20
CASTELVETRO DI MODENA	96,8	6,4	12,0	22,5	15,08	254,8	80,9	5,6	6,9	33,4	22.522,90
CAVEZZO	100,2	8,9	12,3	24,2	15,83	233,1	89,0	4,7	7,3	38,1	20.688,70
CONCORDIA SULLA SECCHIA	109,5	8,8	14,0	25,3	16,07	270,6	125,2	5,1	8,9	40,0	18.576,00
FANANO	113,4	10,2	10,9	43,3	9,54	246,2	75,9	4,5	8,4	46,4	16.371,80
FINALE EMILIA	104,2	8,1	13,3	28,1	13,05	247,1	88,3	5,4	9,0	35,5	19.071,40
FIORANO MODENESE	95,7	5,7	8,1	21,5	9,69	258,0	87,4	5,5	8,0	31,2	22.216,00
FIUMALBO	113,9	9,9	5,6	36,4	6,35	221,7	96,0	4,2	13,3	46,8	14.997,10
FORMIGINE	89,8	5,8	6,7	23,1	8,09	242,6	73,9	5,6	6,4	30,0	23.668,30
FRASSINORO	116,6	13,8	5,8	42,9	6,73	235,0	94,9	5,2	12,1	43,7	16.958,30
GUIGLIA	104,1	8,6	11,0	37,0	13,56	222,6	65,9	5,0	7,6	39,6	19.158,30
LAMA MOCOGNO	123,6	11,7	8,3	41,3	11,17	259,8	168,5	5,9	11,5	45,4	16.814,40
MARANELLO	95,0	6,0	8,9	21,3	11,12	248,0	106,5	5,8	6,6	30,3	23.169,10
MARANO SUL PANARO	100,4	6,6	11,7	25,2	13,23	242,1	123,0	5,6	6,4	34,0	20.721,40
MEDOLLA	96,7	7,0	9,4	25,9	11,89	240,7	79,7	5,9	6,3	31,4	21.578,40
MIRANDOLA	103,7	8,1	14,9	28,0	16,21	249,1	108,5	5,6	7,7	34,4	21.621,70
MODENA	100,3	8,1	15,5	29,3	10,83	245,7	91,1	5,6	8,9	31,9	24.656,10
MONTECRETO	117,6	11,3	10,5	38,6	13,10	266,6	107,4	5,6	9,1	47,0	15.855,20
MONTEFIORINO	113,3	14,4	6,6	36,6	8,79	235,5	107,7	5,9	9,5	39,8	19.080,30
MONTESE	112,2	12,0	12,7	39,0	14,64	244,3	98,9	4,7	7,2	43,3	17.297,80
NONANTOLA	100,3	6,9	10,8	23,4	10,13	243,4	82,2	5,8	11,3	33,1	21.208,60
NOVI DI MODENA	108,8	7,6	15,1	24,3	16,30	257,3	95,6	5,8	8,2	40,5	18.056,80
PALAGANO	113,5	12,6	8,6	34,8	12,80	236,2	106,4	5,0	9,6	45,8	16.848,20
PAVULLO NEL FRIGNANO	103,0	7,7	13,2	30,5	10,84	254,8	94,2	4,9	7,8	37,7	19.520,80
PIEVEPELAGO	123,2	9,6	14,2	37,1	30,17	224,8	103,7	4,9	13,4	48,3	15.300,10
POLINAGO	116,6	14,6	11,3	34,1	16,54	257,5	113,6	5,0	9,0	45,4	17.554,60
PRIGNANO SULLA SECCHIA	96,8	7,8	6,0	25,6	9,87	235,4	82,8	4,7	7,6	38,3	20.413,90

segue

Comune di Residenza	Indice di fragilità sanitaria	Indicatori analitici									Reddito imponibile medio
		% popolazione anziana over 80	% popolazione straniera	% famiglie unipersonali over 65	% ricambio medio della popolazione straniera	Prevalenza ‰ patologie croniche	Prevalenza ‰ Soggetti over 65 affetti da demenza	Incidenza tumori TS ‰	Prevalenza ‰ Soggetti assistiti in ADI over 65	% Contribuenti con reddito <15.000	
RAVARINO	105,1	6,7	12,7	26,0	16,03	245,7	98,6	5,4	10,5	35,4	19.286,40
RIOLUNATO	106,9	11,8	6,2	41,3	12,19	224,1	84,4	4,0	4,9	41,8	17.459,90
SAN CESARIO SUL PANARO	98,0	7,1	8,8	21,8	13,32	257,4	90,1	5,1	9,1	32,3	20.956,40
SAN FELICE SUL PANARO	106,0	7,4	15,0	26,7	14,32	256,9	108,4	5,9	7,5	36,0	19.583,80
SAN POSSIDONIO	116,1	8,2	16,3	25,6	25,96	270,0	73,6	5,6	11,2	43,2	17.606,40
SAN PROSPERO	97,2	5,6	11,1	26,7	14,17	242,9	87,7	4,8	6,7	34,9	20.043,40
SASSUOLO	99,9	7,2	13,7	27,1	11,74	252,8	84,0	5,6	7,7	34,2	22.914,10
SAVIGNANO SUL PANARO	101,3	7,7	14,1	25,9	17,67	240,8	76,2	5,6	6,0	35,8	19.852,90
SERRAMAZZONI	99,1	6,5	11,4	33,0	12,75	229,0	83,0	4,8	6,3	36,7	20.120,00
SESTOLA	110,0	11,0	7,9	40,9	11,40	251,0	90,7	5,0	7,2	45,2	19.522,70
SOLIERA	97,3	6,4	9,2	23,5	11,80	249,9	79,6	5,4	6,8	35,3	19.646,40
SPILAMBERTO	104,0	7,8	19,3	24,7	18,37	253,4	81,4	5,8	5,9	34,3	21.893,80
VIGNOLA	102,0	7,3	17,8	29,1	15,59	246,5	76,9	5,4	5,7	34,3	21.424,20
ZOCCA	108,4	8,1	14,0	38,7	16,24	240,6	60,3	4,9	6,8	42,9	18.094,60
Ausl Modena	100,0	7,4	13,3	27,5	12,44	247,4	89,0	5,5	8,0	34,1	21.952,30

Per il calcolo delle prevalenze e incidenza la pop standard è la popolazione residente in Emilia-Romagna nell'anno di stima

Fonti dati indicatori analitici

Statistica self-service Regione Emilia-Romagna per l'Indicatore % popolazione anziana over 80, per l'indicatore % popolazione straniera

Osservatorio demografico online della provincia di Modena per l'indicatore sul ricambio della popolazione straniera

Istat - Mazzocchetti Regione Emilia-Romagna per l'indicatore % famiglie unipersonali over 65

Banche dati sanitarie Ausl di Modena per l'indicatore prevalenza di almeno una patologia cronica, per l'indicatore Soggetti assistiti in ADI

Registro tumori regionale per l'indicatore incidenza tumori

Registro demenze DWH, popolazione over 30 per l'indicatore soggetti affetti da demenza

MEF – DIP. DELLE FINANZE – IRPEF per l'indicatori sul Reddito Irpef

Analisi esplorativa

La tabella 2 mostra le principali statistiche descrittive degli indicatori elementari. I campi di variazione sono molto diversi e si passa da un CV del 4,5% della prevalenza di patologie croniche al 31% della percentuale di ricambio della popolazione straniera. Gli indicatori, percentuale di popolazione straniera e reddito imponibile medio, tendono a distribuirsi come una normale, i restanti indicatori presentano distribuzioni asimmetriche (Figura 3).

Dalla matrice di correlazione (tabella 3) si evince un range che varia da 0,02 (tra reddito medio e prevalenza patologie croniche) a 0,90 (tra reddito medio e percentuale di contribuenti con reddito < a 15.000 euro). La percentuale di contribuenti con reddito < a 15.000 euro è altamente correlata con la percentuale di popolazione over 80 e la percentuale di famiglie unipersonali over 65.

Tabella 2. *Principali statistiche degli indicatori elementari – Anno 2018*

Indicatori	Min	Max	Med	Mean	Std. Dev.	CV	Assimetria	Curtosi
X1 - % popolazione over 80	5,0	14,6	7,7	8,3	2,4	29,26	1,08	3,32
X2 - % popolazione straniera	5,6	19,3	12,0	11,7	3,3	28,54	-0,03	2,44
X3 - % famiglie unipersonali over 65	21,3	43,3	26,5	29,4	6,7	22,82	0,75	2,12
X4 - % ricambio popolazione straniera	6,3	30,2	13,2	13,8	4,3	31,33	1,46	6,74
X5 - Prevalenza patologie croniche	222,1	285,2	247,2	247,3	11,3	4,57	0,66	4,57
X6 - Prevalenza con diagnosi di demenza	60,3	168,5	88,7	91,7	18,8	20,54	1,45	7,19
X7 - Incidenza tumori	4,0	6,2	5,5	5,3	0,5	9,24	-0,70	2,99
X8 - % popolazione con ADI attiva	4,9	13,4	7,8	8,3	2,1	24,90	0,74	2,85
X9 - Contribuenti con reddito <15.000	29,7	48,3	35,8	37,6	5,3	14,22	0,49	1,98
X10 - Reddito imp. Medio	14.997,1	25.093,2	20.043,4	19.813,0	2.340,7	11,81	0,01	2,68

Figura 3. *Distribuzioni degli indicatori elementari – Anno 2018*

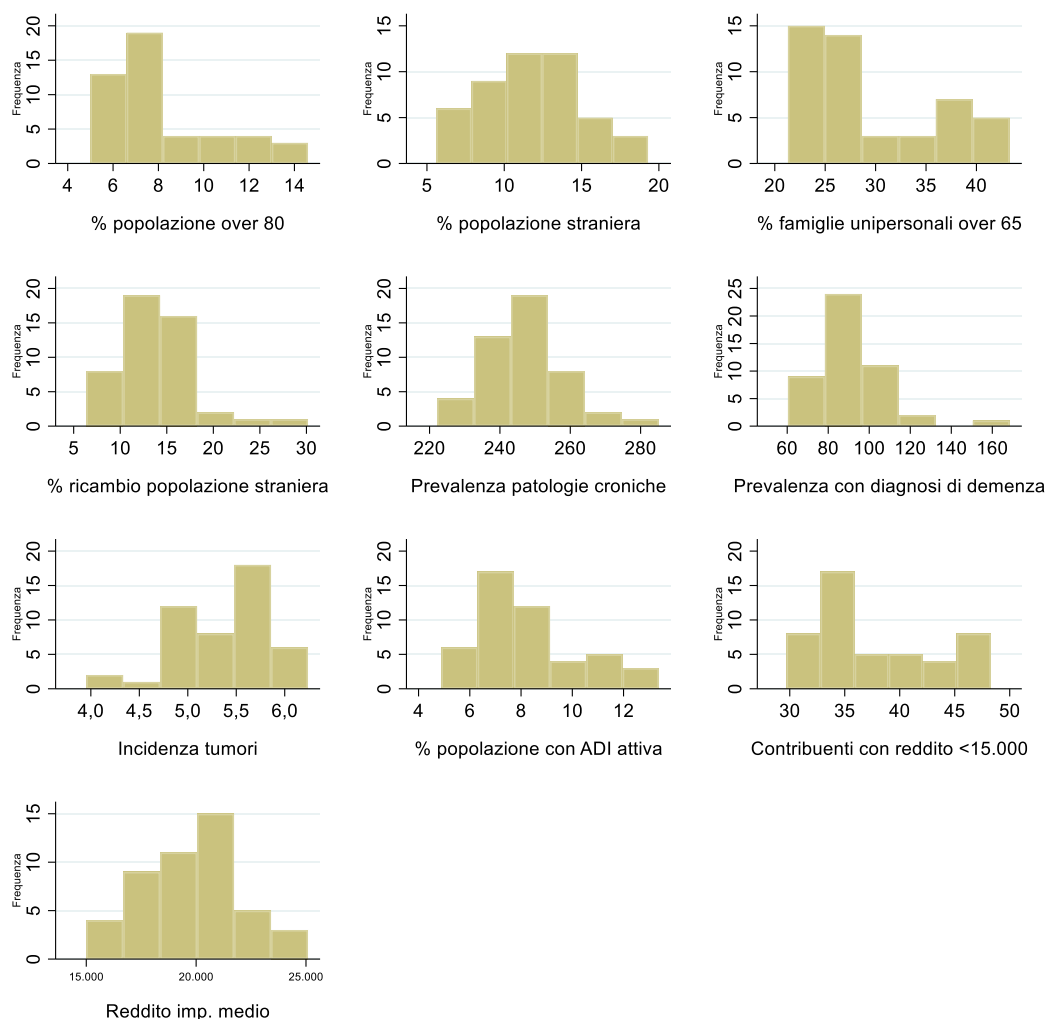


Tabella 3. Correlazione tra gli indicatori elementari – Anno 2018

Indicatori	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1 - % popolazione over 80	1									
X2 - % popolazione straniera	-0,3179	1								
X3 - % famiglie unipersonali over 65	0,7898	-0,3132	1							
X4 - % ricambio popolazione straniera	-0,1066	0,6647	-0,1592	1						
X5 - Prevalenza patologie croniche	-0,1808	0,3678	-0,3023	0,2703	1					
X6 - Prevalenza con diagnosi di demenza	0,3652	-0,1646	0,2121	-0,0733	0,1707	1				
X7 - Incidenza tumori	-0,3327	0,3561	-0,5176	0,1408	0,5958	0,1444	1			
X8 - % popolazione con ADI attiva	0,2703	-0,1615	0,2303	0,1074	0,1499	0,3811	0,0512	1		
X9 - Contribuenti con reddito <15.000	0,7873	-0,1973	0,8236	0,125	-0,1114	0,2908	-0,5018	0,4061	1	
X10 - Reddito imp. Medio	-0,6529	0,1993	-0,7092	-0,1443	0,0286	-0,3139	0,4339	-0,4956	-0,9089	1

Analisi dell'influenza

L'analisi permette di valutare lo spostamento medio dei comuni nella graduatoria corrispondente all'eliminazione di un indicatore elementare dal calcolo dell'indice composito.

Nel caso in studio si sono calcolati 10 indicatori compositivi dove ogni volta si eliminava dal conteggio un indicatore elementare.

La figura 4 mostra lo spostamento di rango medio assoluto dei comuni confrontando la posizione di rango dell'indice composito calcolato con i 10 indicatori elementari e quello calcolato con n-1 indicatori per i due anni in analisi.

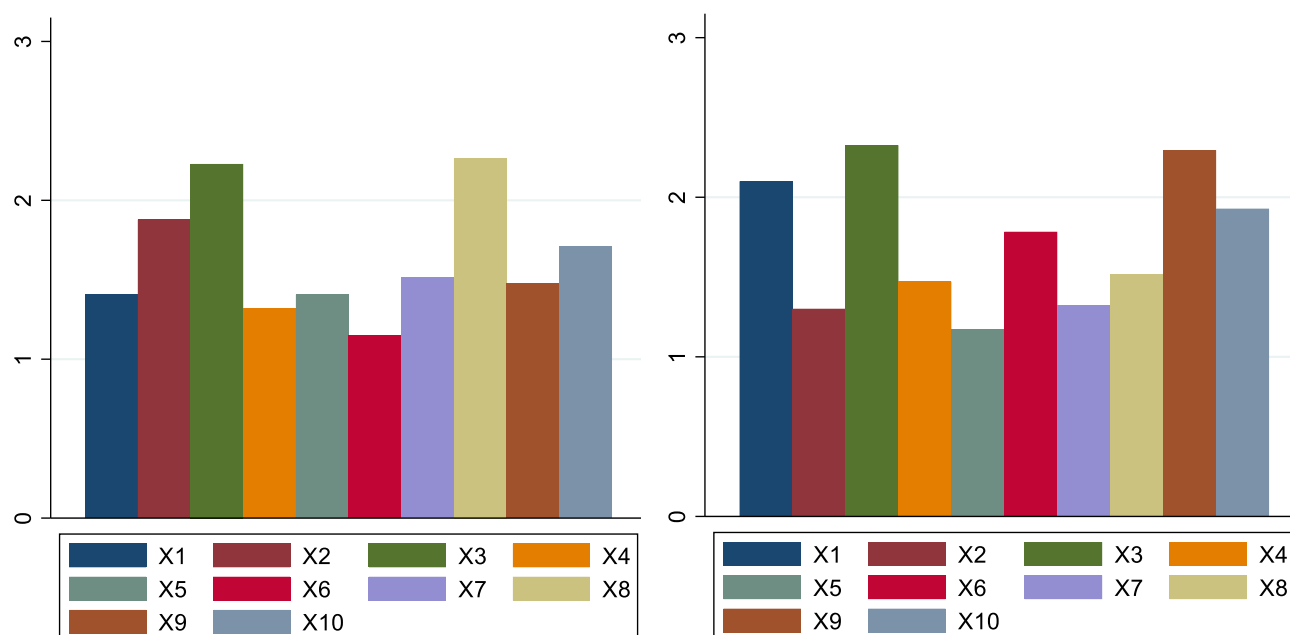
Per il 2018 lo spostamento medio di graduatoria maggiore si ha quando dal calcolo dell'indice composito si elimina la percentuale di famiglie unipersonali over 65 e la percentuale di popolazione con un ADI attiva. Questo indica la forte influenza dei due indicatori elementari sulla fragilità sanitaria. Al contrario la variabile che meno influenza la fragilità 2018 in provincia di Modena sembra essere la prevalenza di soggetti con demenza.

E' interessante osservare l'analisi dell'influenza per la fragilità 2023 e notare come gli indicatori che maggiormente influenzano la fragilità si siano modificati a fronte di una mappa di fragilità più o meno simili (Figura 1.)

Figura 4. Media delle differenze assolute di rango dei comuni, corrispondenti all'eliminazione di un indicatore elementare

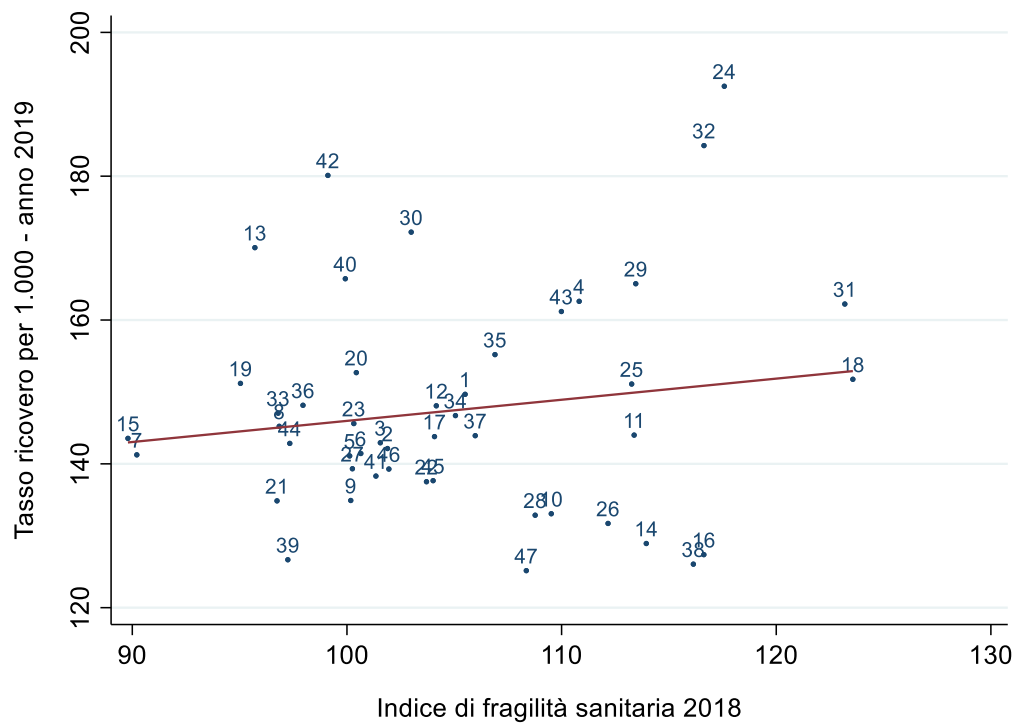
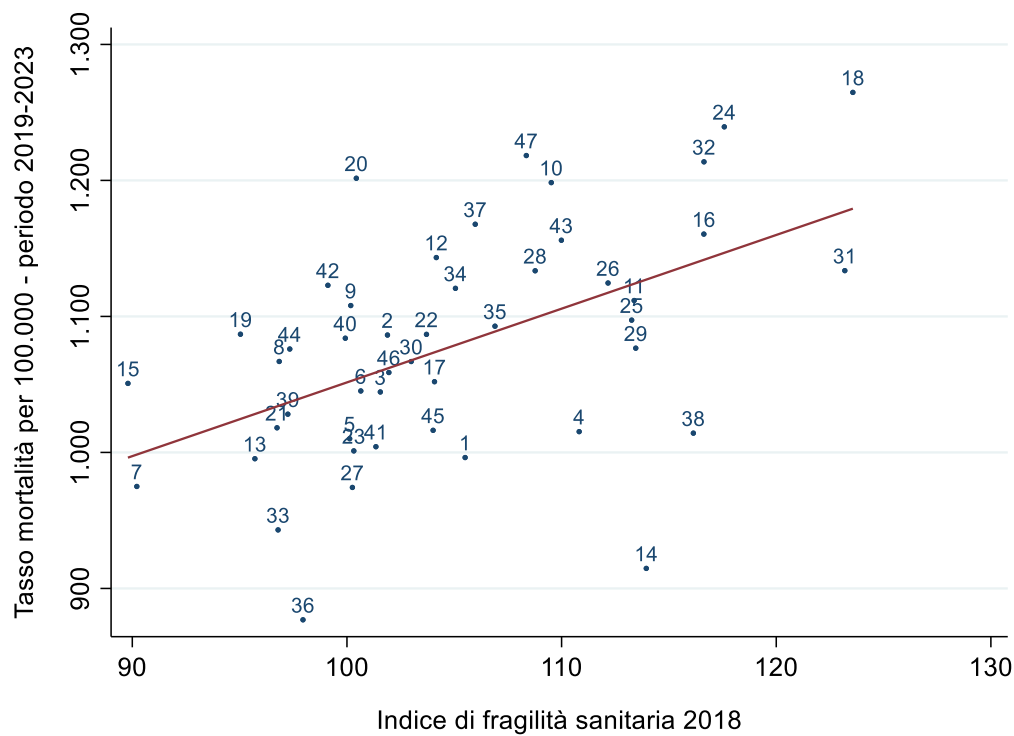
Anno 2018

Anno 2023



Validazione dell'indica di fragilità

La validazione è stata effettuata confrontando i livelli di fragilità del 2018 con il tasso di mortalità 2019-2023 e i ricoveri 2019.



Bibliografia

¹ Mazziotta, M., & Pareto, A. (2024). Statistica per gli indici compositi. Edito Giappichelli

² Mazziotta, M., & Pareto, A. (2016). On a generalized non-compensatory composite index for measuring socio-economic phenomena. *Social Indicators Research*, 127, 983–1003.

³ <https://statistica.regione.emilia-romagna.it/studi-analisi/2022/mappe-potenziale-fragilita-emilia-romagna-2021>

⁴ Mazziotta, M., & Pareto, A. (2018) Measuring Well-Being Over Time: The Adjusted Mazziotta–Pareto Index Versus Othe Non-compensatory Indices. *Social Indicators Research*, 136:967-976.

⁵ Istat - Rapporto Bes2015. Il benessere equo e sostenibile in Italia.