

Rappresentatività spaziale delle stazioni di misura di qualità dell'aria, esempi di buone pratiche in Toscana.

Chiara Collaveri¹, Caterina Busillo², Francesca Guarnieri², Francesca Calastrini², Bianca Patrizia Andreini¹

¹CRTQA Centro Regionale Tutela Qualità dell'Aria, ARPAT Area Vasta Costa, Livorno

²Consorzio LaMMA, Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale, Firenze

Con la nuova Direttiva europea sulla qualità dell'aria ambiente la rappresentatività spaziale di un sito di misura (SR) diventa un metadato fondamentale da affiancare alle misure di qualità dell'aria. Sulla rete regionale di qualità dell'aria della Toscana sono state effettuate diverse elaborazioni modellistiche per la stima della rappresentatività delle stazioni, tutte basate su esperienze nazionali ed europee in corso. Tali valutazioni hanno contribuito al lavoro di definizione di specifiche omogenee per l'applicazione della Direttiva nei vari stati membri.

Introduzione

L'area di rappresentatività spaziale (SRA) è un indicatore essenziale da associare a ciascun punto di monitoraggio, fondamentale per estendere l'interpretazione dei dati misurati nel contesto della Direttiva di qualità dell'aria e valutare l'esposizione.

Fin dalle prime bozze in circolazione della attuale Direttiva 2024/2881, è stato chiaro che la rappresentatività spaziale delle stazioni di misura è destinata a diventare un metadato fondamentale da comunicare insieme ai valori degli inquinanti.

Al fine di individuare una metodologia comune che consenta la definizione della SRA delle singole stazioni di monitoraggio, sono stati condotti vari studi sia a livello europeo nell'ambito del Forum modellistico FAIRMODE, che a livello nazionale. In Italia, nel 2013, ENEA ha realizzato, per conto del Ministero dell'Ambiente, uno studio volto ad esaminare diversi approcci metodologici [1,2,3].

A livello europeo, nel gruppo di lavoro WG8 di FAIRMODE, è stato promosso un esercizio per testare l'applicazione di vari metodi sulla rappresentatività spaziale, allo scopo di arrivare alla definizione di un metodo semplice, robusto e trasparente che potesse essere facilmente applicato in tutta Europa [4].

In questo contesto, nel corso degli anni, ARPAT e LAMMA hanno effettuato valutazioni sulle SRA per la Regione Toscana, applicando i vari metodi sopra citati, aggiornandoli sia nel tempo, dato che la rappresentatività delle stazioni può non essere costante, sia utilizzando metodologie diverse [5, 6, 7]. Sono di seguito descritti i metodi testati e utilizzati per la rete regionale in Toscana.

Materiali e metodi

Metodo dell'indice β

Per valutare la rappresentatività spaziale delle stazioni della rete regionale si fa riferimento al calcolo, per ciascun sito, di un indice denominato indice β su aree circolari concentriche di raggio crescente.

$$\beta = \log \left[1 + \frac{\sum_i a_i \cdot n_{RCLi}}{\sum_i n_{RCLi}} \right]$$

n_{RCLi} = numero di pixel nella i-esima classe Corine Land Cover presenti nel raggio considerato intorno alla stazione

ai = coefficiente che pesa l'importanza di ciascuna classe di uso del suolo rispetto alle concentrazioni in aria dell'inquinante considerato. Come prima stima si utilizzano i valori dell'inventario regionale delle emissioni associati a ciascuna classe, poi la stima viene ottimizzata minimizzando l'errore nell'ipotesi di una relazione lineare tra β e valori dell'inquinante.

La variabilità di β è assunta proporzionale alla variabilità delle concentrazioni da un buffer all'altro e la stazione è considerata rappresentativa entro un determinato raggio dal sito di monitoraggio, se l'indice calcolato per quel raggio non differisce più del 20% rispetto all'indice calcolato per un raggio di 2 km.

Il metodo basato su frequenza similarità a partire dai dati modellistici

Il metodo utilizza le stime ottenute dalla catena modellistica WRF-CAMx applicata alla Toscana, inizializzata con l'inventario regionale delle emissioni IRSE, su base oraria [8]. Tale metodo prevede che un punto di misura sia rappresentativo di un'area quando la differenza tra il valore stimato nel sito di misura e quello stimato nell'area considerata soddisfa un criterio di similarità, che viene descritto di seguito. Supponendo di dividere l'area di interesse con un grigliato regolare, per ogni sito s individuato dalle coordinate (x_s, y_s) , viene considerata la serie temporale dei valori di concentrazione di un dato inquinante, di lunghezza T . Per ogni cella del dominio di calcolo di coordinate (x, y) e per ogni istante temporale i , viene calcolato un indice di frequenza f_i , nel seguente modo:

$$f_i = \begin{cases} 1, & \text{se } \frac{|Conc(x_s, y_s, t_i) - Conc(x, y, t_i)|}{Conc(x_s, y_s, t_i)} \leq \text{soglia} \\ 0, & \text{se } \frac{|Conc(x_s, y_s, t_i) - Conc(x, y, t_i)|}{Conc(x_s, y_s, t_i)} > \text{soglia} \end{cases}$$

Nell'arco dell'anno la cella sarà rappresentata dalla stazione se questa frequenza è superiore al 90%, ovvero se:

$$R_s(x, y) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T f_i > 0.9$$

Nel lavoro effettuato sono state esaminate varie soglie ed è stata selezionata, anche in questo caso, una soglia pari al 20%.

Il metodo basato su similarità a partire dai dati modellistici (Fairmode)

Anche in questo caso, il metodo utilizza le stime ottenute dalla catena modellistica WRF-CAMx applicata alla Toscana, inizializzata con l'inventario regionale delle emissioni IRSE, su base annua [8]. In questo metodo, la rappresentatività spaziale di una centralina è definita come l'insieme di tutte le celle del grigliato modellistico in cui, per l'inquinante considerato, la differenza con la stima nel punto di misura è inferiore ad un livello di tolleranza, sulla base della metrica scelta. Nella quasi totalità dei casi esaminati, come metrica è stata scelta la media annuale. Il livello di tolleranza consigliato è del 15%.

Tabella 1 Riepilogo metodi e loro applicazione

	<i>Indice β</i>	<i>Similarità – stime giornaliere</i>	<i>Similarità – stime annuali</i>
Inquinanti	PM10	PM10, NO ₂ , O ₃	PM10, NO ₂ , O ₃
Dati di input	Dati rete (*), Corine LC(**)	Stime del modello su base oraria (risoluzione 2km)	Stime del modello su base annuale: media annuale e 90.4° perc. (risoluzione 2km)
Dati di output	Raggio SRA	SRA su griglia (risoluzione 2km)	SRA su griglia (risoluzione 2km)
Ambiti di applicazione e dati utilizzati	SR Toscana 2015 <i>PM medie 2010-2014, CLC 2000</i>	SR Toscana 2015 <i>IRSE 2007, meteo (2015)</i>	-
	SR Toscana 2022 <i>PM medie 2017-2022, CLC 2019</i>	SR Toscana 2022 <i>IRSE 2017, meteo (2022)</i>	-
	-	Esercizio Fairmode <i>IRSE 2007(***) Meteo (2015, 2017)</i>	Esercizio Fairmode <i>IRSE 2017, Meteo (2015, 2017, 2019, 2022)</i>

(*) https://www.arpad.toscana.it/temi-ambientali/aria/qualita-aria/archivio_dati_orari

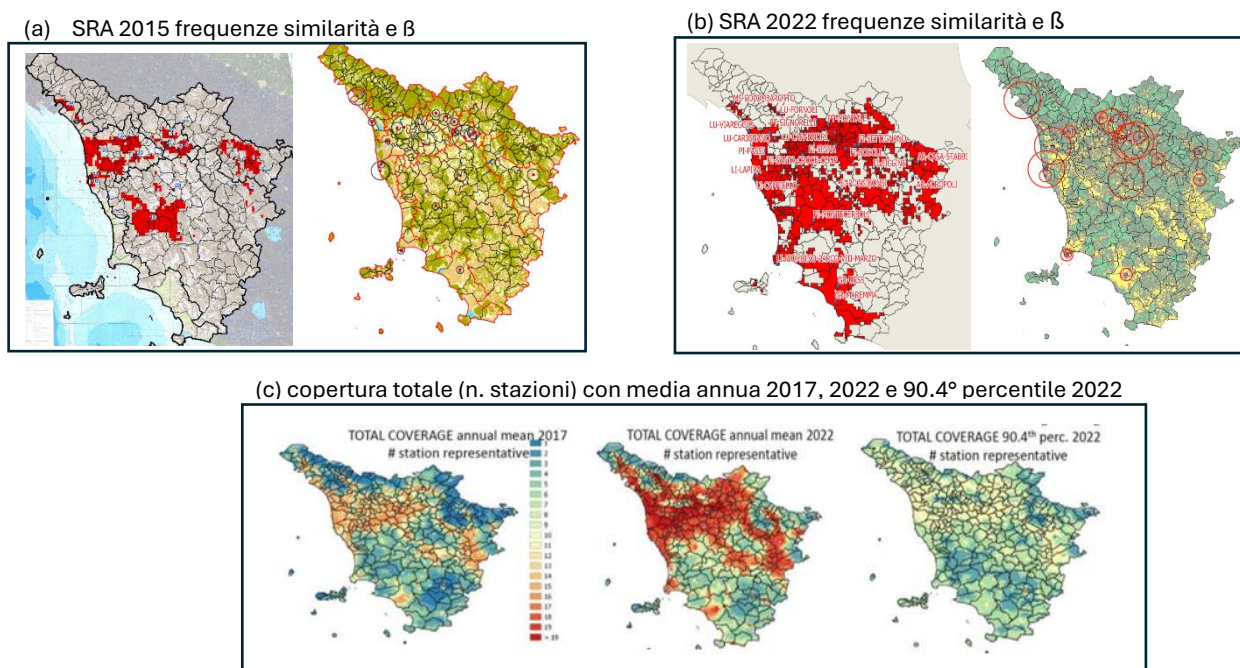
(**) <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>

(***) <https://www.regione.toscana.it/-/inventario-regionale-sulle-sorgenti-di-emissione-in-aria-ambiente-irse>

Risultati

In figura 1 vengono riportati i risultati della stima della SRA per il PM10 seguendo i diversi metodi illustrati. La stima delle SRA è effettuata esclusivamente su stazioni di fondo perché per le altre tipologie la rappresentatività è molto limitata.

Figura 1. PM10 (a) SRA 2015 con metodo beta e frequenze similarità modellistica (b) SRA 2022 con metodo beta e frequenze similarità modellistica (c) metodo similarità su base annuale (2017, 2022, 2022 90.4° perc.)



Il confronto tra le diverse metodologie e basi dati utilizzati mostra:

- una buona rappresentatività spaziale della rete di stazioni che copre, in ogni caso, tutte le principali aree urbane e quindi la maggior parte della popolazione;
- SRA in generale aumento, a parità di metodo tra il 2015 (a) (copertura 14.30% della superficie regionale, 62 comuni su 273 toccati dalle SRA delle stazioni) e il 2022 (copertura 60.4% della superficie regionale, 200 comuni su 273 toccati dalle SRA delle stazioni) (b), in corrispondenza di un trend di diminuzione che sposta i livelli di concentrazione di PM10 verso quelli di fondo;
- una sostanziale differenza tra i metodi (a) e (b) ed il metodo (c) che ha il 100% di copertura e in molte aree la sovrapposizione delle SRA di stazioni diverse;
- differenze con il metodo (c) tra 2017 e 2022 che conferma il trend evidenziato con gli altri metodi;
- all'interno della figura (c) differenze tra l'utilizzo della media annuale, con maggiori aree di sovrapposizione, e del 90.4° percentile;
- per quanto riguarda gli altri inquinanti (che non sono qui riportati per ragioni di sintesi) si riscontra rispetto al PM10 una minore estensione delle SRA per NO₂ ed una estensione invece molto maggiore per O₃.

Conclusioni

Riguardo alla metodologia proposta a livello europeo da Fairmode, se si utilizzano medie annuali, l'SRA risultante fornisce indicazioni su questa metrica; per qualche inquinante, tuttavia, esistono altri indicatori di esposizione a medio o breve termine, che devono essere considerati. In Toscana l'orografia è complessa e per il PM10, anche se i livelli di concentrazione delle medie annuali è abbastanza omogenea in tutta la regione, il comportamento su base giornaliera può essere molto diverso anche per stazioni vicine. Per questo motivo, anche in base all'esperienza acquisita dall'applicazione di altri metodi, si ritiene che le SRA risultanti dalla metodologia basata sulla metrica-media annuale di PM10 siano troppo estese per la Toscana, per cui occorrerà trovare criteri di limitazione a posteriori o applicare una metrica diversa, sempre rimanendo all'interno della necessaria omogeneità metodologica nell'applicazione della Direttiva europea.

Riferimenti

- [1] Piersanti A., Ciancarella L., et al. (2013), Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato su fattori oggettivi. Rapporto Tecnico RT/2013/1/ENEA, ENEA. <http://openarchive.enea.it/handle/10840/4475>
- [2] Cremona G., Ciancarella L., et. (2013): Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato sull'uso di dati emissivi spazializzati, Rapporto Tecnico RT/2013/2/ENEA, ENEA.
- [3] Vitali L., Ciancarella L., et al.(2013): Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato sull'analisi dei campi di concentrazione simulati dal modello nazionale MINNI, Rapporto Tecnico RT/2013/3/ENEA, ENEA.
- [4] FAIRMODE WG8 – Guidance Document on the estimation of spatial representativeness Authors: Matthew Ross-Jones, Leonor Tarrason and Stijn Janssen on behalf of the WG8 community, Marzo 2025 [WG8_Guidance_Document_Spatial_Representativeness_VS4.pdf](#)
- [5] Rappresentatività spaziale delle stazioni della rete di monitoraggio di qualità dell'aria toscana, B.P Andreini et al. Marzo 2015. https://www.regione.toscana.it/documents/10180/14975509/ARPAT_Lamma_Rappresentativita.pdf/5fdf6337-e9d3-4790-b041-9be51ab1f26f

[6] Stima della rappresentatività spaziale delle stazioni di fondo di rete regionale PM10 con il metodo β , B.P. Andreini, C. Collaveri, Giugno 2022.

https://www.regione.toscana.it/documents/10180/23809530/ARPAT_RAPP_METODO+BETA.pdf/fbe74d2f-78f2-977e-ffaf-0030506f5d69?t=1664284606000

[7] Rappresentatività spaziale delle stazioni della rete di monitoraggio di qualità dell'aria Toscana - Aggiornamento IRSE 2017, C.Busillo et al, Giugno 2022.

https://www.regione.toscana.it/documents/10180/23809530/Lamma_RAPP_PM10_NO2_O3.pdf/5d72a9b7-1c28-cb5d-f878-332d6fc0d69e?t=1664284453325

[8] <https://www.lamma.toscana.it/camx-info-sul-modello-previsionale>