

COME CAMBIA L'ARIA. L'INQUINAMENTO DAL 2001 A OGGI

COM'È CAMBIATA LA QUALITÀ DELL'ARIA IN EMILIA-ROMAGNA DAL 2001 A OGGI? UN'ANALISI DI DETTAGLIO DEI DATI DELLA RETE REGIONALE DI MONITORAGGIO, CENTRALINA PER CENTRALINA, FOCALIZZATA SUGLI INQUINANTI PIÙ CRITICI: PM₁₀, OZONO, BISSIDO DI AZOTO.

Negli ultimi decenni, in seguito a iniziative più attente da parte dei governi locali ed europei, la qualità dell'aria in Emilia-Romagna è migliorata su gran parte delle città. Sono calate vistosamente le concentrazioni di alcuni inquinanti, come ad esempio il monossido di carbonio, biossido di zolfo, piombo, benzene. Rimangono critici PM₁₀, ozono e biossido di azoto. Dunque, l'inquinamento atmosferico deve continuamente essere monitorato con un sistema di centraline che registrano i livelli dei vari inquinanti. Questi dati sono necessari sia per la valutazione delle misure adottate dai governi (locali e nazionali) per il miglioramento della qualità dell'aria, sia per la pianificazione e l'attuazione dei provvedimenti.

Per la valutazione delle misure adottate in Emilia-Romagna ci si avvale di studi basati su strumenti statistici applicati ai dati osservati che provengono dalla rete di stazioni regionale. Tale rete nasce, tuttavia, con esigenze di carattere conoscitivo-legale piuttosto che statistico-scientifiche. In altri termini, la priorità è monitorare la matrice aria garantendo un'informazione completa e quotidiana al cittadino e ai decisori, adeguandosi via via al mutare dei fattori di pressione presenti e all'evoluzione del contesto normativo¹.

Dunque, nello studio dei trend della qualità dell'aria bisogna tenere conto che la rete non nasce con questo scopo. Ciò richiede alcune cautele. La garanzia di qualità del dato, perfettamente soddisfacente per gli scopi di monitoraggio della rete stessa, potrebbe non essere ottimale per uno studio statistico di lunga durata. In particolare, in alcuni casi il cambio di strumentazione potrebbe portare a differenze sistematiche nelle misure: da un punto di vista statistico, la serie non è più omogenea. Questo è un primo problema. Il secondo problema si pone soprattutto qualora si ambisca a definire un indicatore sintetico regionale che rappresenti in forma aggregata la qualità



dell'aria in regione, per poi valutarne la tendenza sul lungo periodo.

Dunque, in questa prima fase dello studio del trend della qualità dell'aria in Emilia-Romagna, abbiamo adottato un approccio analitico: il trend è stato calcolato separatamente per ciascuno dei tre inquinanti presi in esame (NO₂, PM₁₀, O₃) e per ciascuna centralina che li misura.

Un'analisi robusta del trend di una serie storica deve tener in conto delle assunzioni che essa sottende (normalità, assenza di autocorrelazione, omoschedasticità ecc.). Per l'analisi delle serie storiche di dati di qualità dell'aria sono adeguati approcci del tipo utilizzato nel metodo di Mann-Kendall [1] o quello di Theil-Sen [2, 3]. Per questo studio abbiamo utilizzato questo ultimo, implementato dal *King's College* di Londra nel pacchetto software *OpenAir* [4].

Il vantaggio dello stimatore di Theil-Sen è che tende a produrre intervalli di confidenza accurati anche quando i dati non sono distribuiti normalmente e nel caso di eteroschedasticità (varianza dell'errore non costante). Inoltre, è un metodo robusto rispetto agli *outliers*. Infine, tiene conto del fatto che le serie storiche di dati di qualità dell'aria sono autocorrelate. I dati delle centraline sono stati preparati e analizzati seguendo questa procedura:

- 1) controllo di qualità
- 2) selezione delle stazioni con un numero di dati validi sufficiente²
- 3) destagionalizzazione
- 4) solo per l'ozono, calcolo del massimo giornaliero della media mobile su 8 ore
- 5) calcolo delle medie mensili
- 6) stima del trend con il metodo di Theil-Sen
- 7) stima dell'intervallo di confidenza del trend stesso
- 8) calcolo del p-value, cioè valutazione della significatività statistica del trend³.

Il controllo di qualità delle misure della rete regionale è affidato all'esperienza degli operatori delle Sezioni provinciali di Arpa, che garantiscono controlli incrociati quotidiani e applicano procedure di validazione dei dati a cadenze regolari. Questo sistema garantisce una qualità del dato omogenea su tutto il territorio regionale, ormai da diversi anni. Nei primi anni dello scorso decennio, però, tale omogeneità non era ancora garantita e pertanto si è proceduto a un ulteriore controllo automatico preliminare. Tale controllo si articola in due fasi. In una prima fase si verifica la coerenza di ciascun dato della serie storica con la distribuzione statistica della serie stessa, allo scopo di evidenziare eventuali anomalie. In una seconda fase è verificata

la coerenza spaziale dei dati rilevati, allo scopo di segnalare misure discordanti rispetto alle centraline vicine, e pertanto sospette. Ne risultano invalidati circa l'uno per mille dei dati di PM_{10} , concentrati negli anni 2001-2004, e ancora meno per NO_2 e ozono.

Le concentrazioni degli inquinanti oggetto di questo studio mostrano tutte una spiccata stagionalità: i valori di PM_{10} e biossido d'azoto sono circa doppi nei mesi invernali rispetto a quelli estivi, mentre l'inverso succede per l'ozono. Il metodo di Theil-Sen usato per stimare la significatività del trend richiede invece che i dati non abbiano ciclicità, ma solo variazioni casuali, sovrapposte a un (eventuale) trend. Perciò prima di procedere all'analisi dei trend si è rimossa la stagionalità. In pratica, dai dati misurati è stata sottratta la media di tutte

le misure effettuate dalla stazione nella sua storia nello stesso mese.

I risultati dell'analisi

Vediamo dunque i risultati dell'analisi. La *figura 1* illustra in dettaglio i trend per ciascuna stazione di misura. Per il PM_{10} la tendenza è di diminuzione in quasi tutte le stazioni. In metà delle stazioni il calo è statisticamente significativo. Solo tre stazioni delle 32 analizzate mostrano un trend in aumento, ma non significativo da un punto di vista statistico. Il valore medio dei trend di PM_{10} è di $-0.9 \mu g/m^3$ all'anno⁴. La *figura 2c* mostra la mappa spaziale dei trend. Si nota in maniera evidente che il trend di calo non è una caratteristica di alcune zone piuttosto che di altre. Anche nel caso del NO_2 , la maggior

parte delle stazioni mostra un trend in diminuzione. Per metà delle 74 stazioni analizzate la diminuzione è statisticamente significativa. Undici stazioni mostrano una crescita, significativa in 5 casi solamente. Il valore medio dei trend di NO_2 è di $-0.9 \mu g/m^3$ all'anno. La *figura 2a* mostra la mappa spaziale del trend, e anche qui non si evidenzia nessuna particolare configurazione geografica prevalente.

La situazione per il terzo inquinante, e cioè l'ozono, sembra essere più variegata e meno soddisfacente. In questo caso non sembra esserci indicazione chiara di un aumento o di una diminuzione, e nella maggior parte delle stazioni il trend non è significativo. Questo ci rimanda a ulteriori analisi per approfondire tale risultato. Il valore medio dei trend di ozono è di $+0.17 \mu g/m^3$ all'anno.

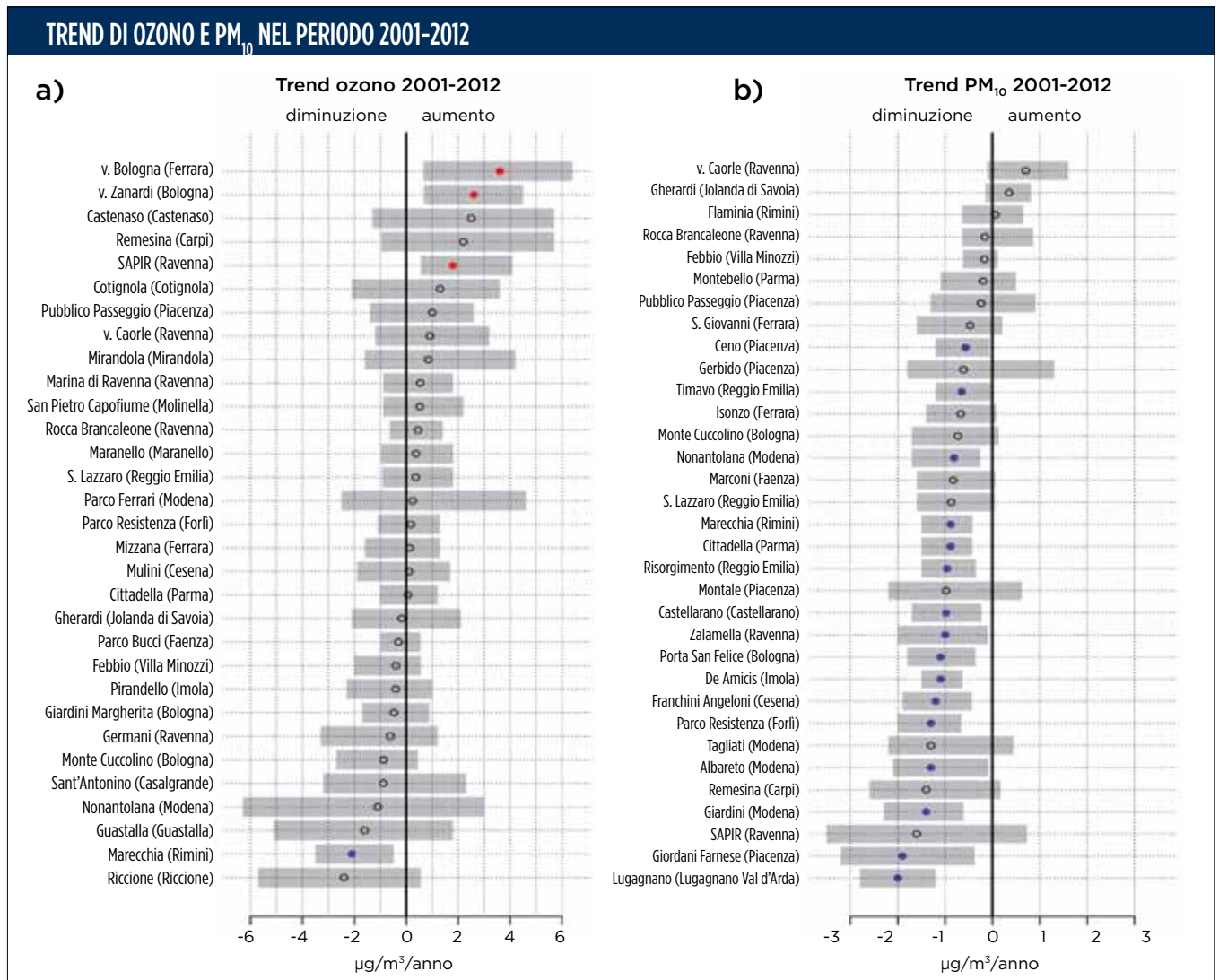


Fig. 1. Qualità dell'aria in Emilia-Romagna
 a) Stima del trend dei massimi giornalieri della media mobile su otto ore dell'ozono, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012.
 b) Stima del trend delle concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} , calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012.
 I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

Conclusioni

Come interpretare questi risultati? In un'ottica regionale, ci sono segnali di miglioramento per PM_{10} e NO_2 , ma non per l'ozono. Volendo poi interpretare le singole realtà locali, occorrerebbero elementi conoscitivi ulteriori. In tal senso, questo studio non pretende di esaurire il tema, che richiederà anzi ulteriori approfondimenti.

Ad esempio, si evidenziano alcuni casi particolari. Non deve stupire la variabilità dei risultati per NO_2 , vista la natura più di scala locale del fenomeno, che in alcuni casi probabilmente risente di variazioni locali della circolazione stradale⁵. In qualche raro caso il trend potrebbe invece essere il riflesso della variazione di strumentazione. È probabilmente questo il caso del PM_{10} a Gherardi, che proprio in corrispondenza della sostituzione del Teom con lo Swam nel marzo 2009 mostra una discontinuità nella serie temporale.

La lunghezza delle serie storiche, unita alla metodologia adottata, mette al riparo dagli effetti della variabilità meteorologica di breve periodo, ma non consente di discriminare tra gli effetti delle variazioni meteorologiche di lungo periodo e gli effetti delle variazioni emissive. Per effettuare uno studio che tenga conto anche di questi due fattori occorrerà elaborare metodologie più sofisticate.

Giovanni Bonafè, Enrico Minguzzi,
Antonella Morgillo

Arpa Emilia-Romagna

NOTE

1. Ad esempio, al diminuire della criticità di alcuni inquinanti a scala spaziale piccola (CO, benzene) e al corrispondente aumento di interesse per gli inquinanti a scale spaziali più ampie (PM_{10} , $PM_{2.5}$), è giustamente corrisposto un adeguamento della rete verso una riduzione delle centraline di traffico e un aumento delle centraline di fondo.

2. 1971 dati giornalieri per PM_{10} e ozono, 47304 dati orari per NO_2 , equivalenti al 90% di 6 anni di dati

3. Se il *p-value* è minore di 0.05, allora il trend si può considerare significativo.

4. Riportiamo il valore mediano dei trend delle singole stazioni, per dovere di sintesi. Ma sintetizzare in un solo indicatore regionale rappresentativo la tendenza delle concentrazioni in Emilia-Romagna richiederebbe approfondimenti ulteriori.

5. spiccano la stazione di Correggio con +3 $\mu g/m^3$ di aumento annuo e quella di Parco Ferrari con -4 $\mu g/m^3$ di diminuzione.

MAPPE SPAZIALI DEI TREND DEGLI INQUINANTI

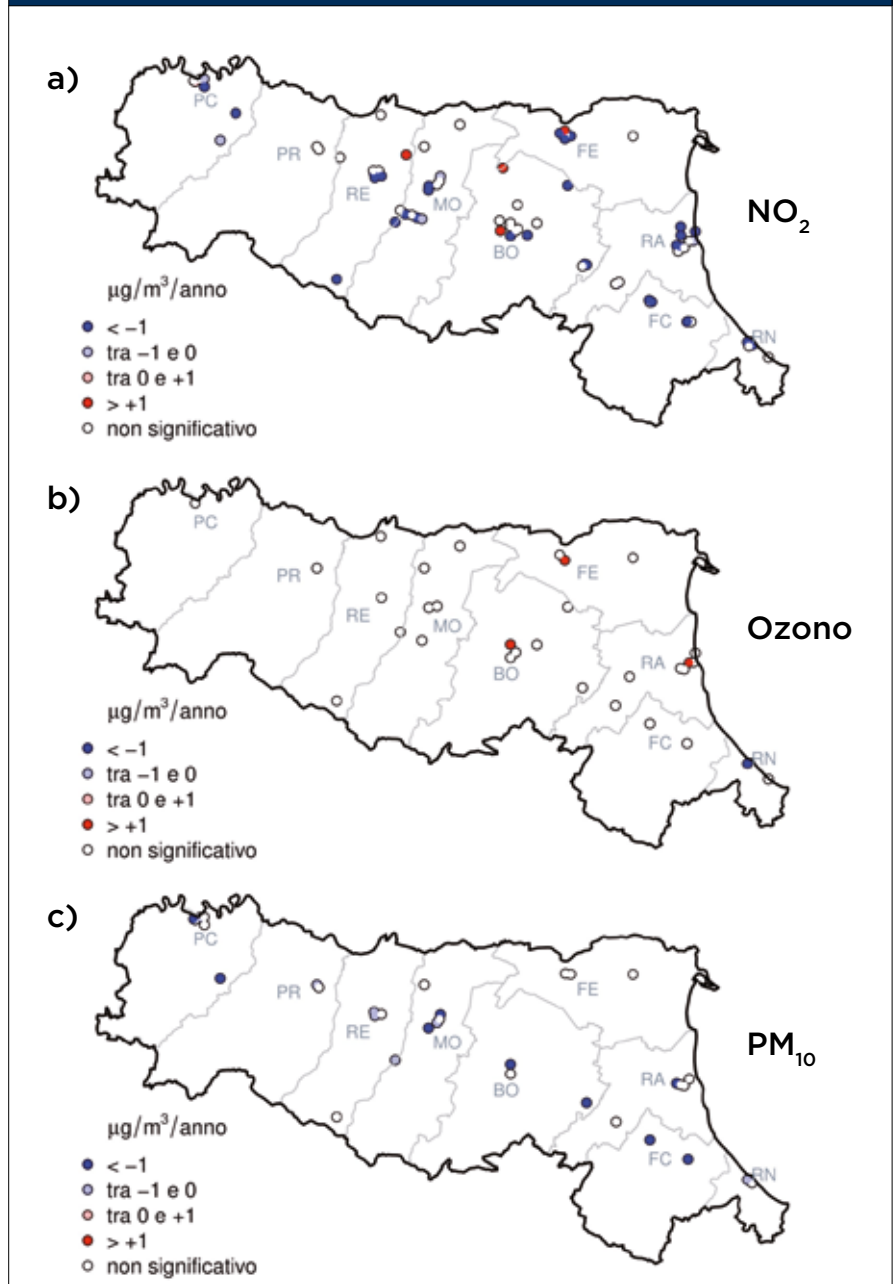


Fig. 2. Qualità dell'aria in Emilia-Romagna

a) Mappa della stima del trend delle concentrazioni orarie di NO_2 .
b) Mappa della stima del trend dei massimi giornalieri di ozono della media mobile su otto ore
c) Mappa della stima del trend delle concentrazioni medie giornaliere di PM_{10}

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Hirsch R.M., Slack J.R., Smith R.A., 1982, "Techniques of trend analysis for monthly water-quality data", *Water Resources Research*, 18 (1), 107-121, ISI Document Delivery No.: NC504. 145.
- [2] Theil H., 1950, "A rank invariant method of linear and polynomial regression analysis, i, ii, iii", *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen, Series A - Mathematical Sciences* 53, 386-392, 521-525, 1397-1412. 145.
- [3] Sen P. K., 1968, "Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau", *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 145.
- [4] Carslaw D.C., Ropkins K., 2012, "Openair - an R package for air quality data analysis", *Environmental Modelling & Software*, Volume 27-28, 52-61.