

Analisi statistica del rapporto tra PM2.5 e PM 10 in Abruzzo. Primi risultati.

Carlo Colangeli^{1,3}, Sergio Palmeri², Sebastiano Bianco¹, Piero Di Carlo³

¹Arta Abruzzo Distretto Prov.le di Chieti, Via Spezioli 52 – 66100 Chieti

²Arta Abruzzo Distretto Prov.le di Pescara, Viale Marconi 51 – 65126 Pescara

³Università degli Studi G. D'Annunzio di Chieti-Pescara, Dipartimento di Scienze Psicologiche, della Salute e del Territorio, Via dei Vestini, 31 - 66100 Chieti

Riassunto

Il particolato (PM) è tra gli inquinanti atmosferici più studiati per gli effetti sulla salute umana e il clima. Poiché l'impatto sanitario del PM aumenta al diminuire delle dimensioni aerodinamiche, il monitoraggio è rivolto al PM10 (frazione del PM con dimensioni aerodinamiche minori di 10 µm) e al PM2.5 (frazione con dimensioni aerodinamiche minori di 2.5 µm). Le emissioni antropiche, in genere, contribuiscono maggiormente ai livelli di PM2.5, mentre nel PM10 le emissioni naturali, in determinate situazioni, possono dominare. In aree in cui le concentrazioni di PM osservate sono il risultato di sorgenti di diversa natura, l'analisi del rapporto tra le concentrazioni di PM2.5 e PM10, tenendo in debito conto i parametri meteorologici, può dare informazioni importanti su natura, origine ed evoluzione del PM. In questo lavoro vengono presentati i primi risultati della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria gestita da ARTA Abruzzo, nel primo biennio di attività (2017/2018). In particolare, è stato effettuato uno studio statistico del rapporto PM2.5/PM10, basato sui dati misurati nelle 8 stazioni della rete nelle quali entrambi i parametri sono monitorati. Il passo successivo consisterà nell'identificazione delle maggiori sorgenti di PM, in particolare nell'Agglomerato Pescara-Chieti.

1. INTRODUZIONE

Il particolato aerodisperso (PM) è una miscela fisico-chimica complessa, composta da componenti primarie, emesse direttamente dalle fonti inquinanti, e secondarie, formatesi successivamente in seguito a processi che coinvolgono inquinanti gassosi. PM10 e PM2.5 indicano la frazione di particolato di diametro aerodinamico inferiore, rispettivamente, a 10 µm e 2.5 µm; quest'ultima è considerata un rischio maggiore per la salute in quanto può agevolmente penetrare a fondo nell'apparato respiratorio, fino alla regione alveolare (Dominici et al., 2014). L'origine del PM2.5 è prevalentemente antropica, in particolare deriva dai prodotti primari e secondari di processi di combustione (traffico veicolare, impianti di produzione dell'energia), mentre la frazione grossolana del particolato atmosferico risente maggiormente dei processi naturali. In considerazione della diversa origine e delle diverse proprietà chimico-fisiche della frazione fine e grossolana del particolato, il rapporto PM2.5/PM10 può fornire preziose informazioni sull'origine prevalente del PM, sui processi di formazione e sugli effetti sulla salute della popolazione (Speranza et al., 2014). Valori elevati del rapporto PM2.5/PM10 evidenziano un contributo antropico prevalente, mentre valori inferiori suggeriscono un ruolo dominante dei processi naturali (Sugimoto et al., 2016).

2. MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA IN ABRUZZO

Ai fini della valutazione della qualità dell'aria, come previsto dalla Delibera di Giunta della Regione Abruzzo n. 1030 del 15/12/2015, l'intero territorio regionale è stato suddiviso in zone ed agglomerati (fig. 1). In particolare, la zonizzazione prevede un *Agglomerato (AGG)*, costituito dalla conurbazione di Pescara-Chieti (Cod. IT1305), la cui area include anche i Comuni di Montesilvano, Spoltore, San Giovanni Teatino e Francavilla al Mare (fig. 2), per una popolazione complessiva, al 01/01/2018, di 283602 abitanti. Il restante territorio abruzzese è stato suddiviso in due zone denominate, rispettivamente, *Zona a maggiore pressione antropica*

(MAXP, Cod. IT 1306, circa 800000 ab. comprendente L'Aquila, Teramo e altri 109 comuni) e Zona a minore pressione antropica (MINP, Cod. IT 1307, circa 255000 ab, 188 comuni).

Varie stazioni di monitoraggio sono attive da diversi anni nei maggiori centri della regione, ma solo a partire dal 2017 la qualità dell'aria in Abruzzo è monitorata da una rete progettata in coerenza con la zonizzazione. La rete, composta da 16 stazioni fisse (tab.1, fig. 1), dotate complessivamente di oltre 60 analizzatori automatici, è gestita da ARTA Abruzzo (che provvede anche alla validazione e alla pubblicazione dei dati sul sito sira.artaabruzzo.it) a seguito di stipula di una specifica Convenzione con la Regione Abruzzo (D.G.R. n. 708 del 15/11/2016).

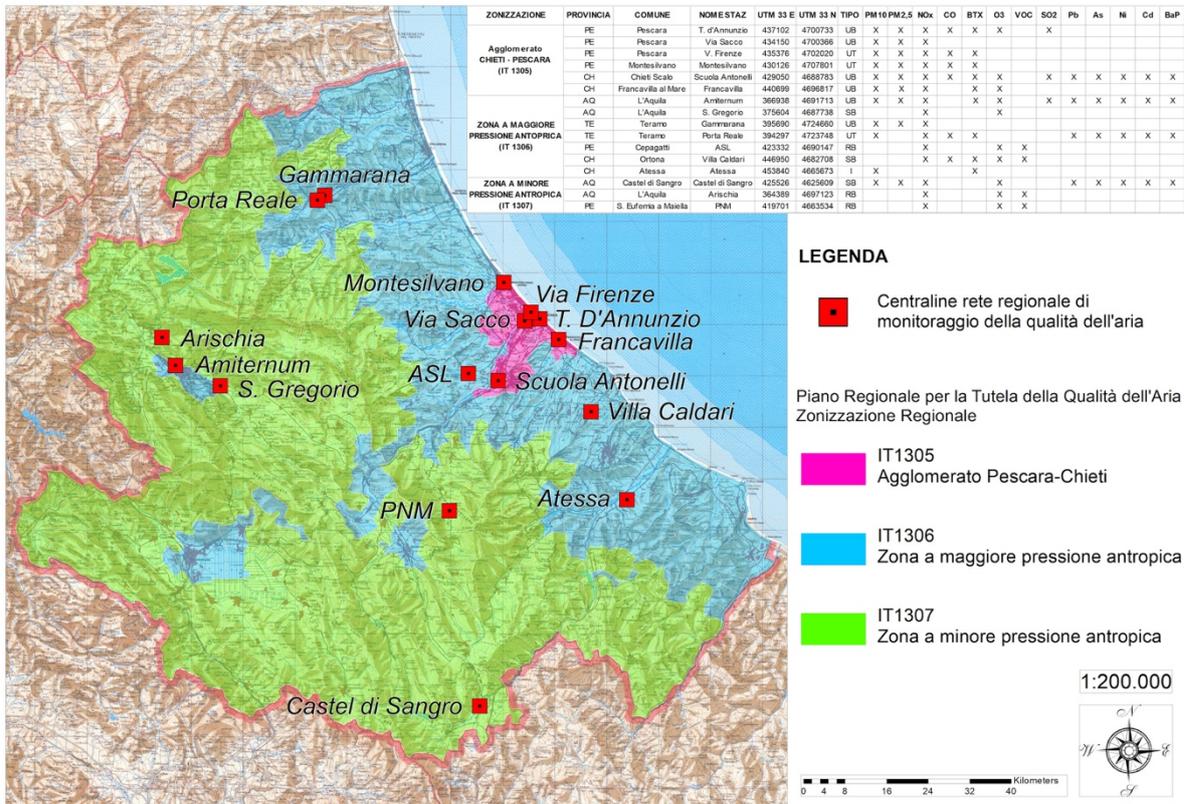
Tabella 1 - Prospetto riassuntivo delle stazioni fisse della rete regionale abruzzese per il monitoraggio della qualità dell'aria, con i dettagli dei parametri misurati.

	PROV.	COMUNE	NOME STAZ	UTM-X	UTM-Y	TIPO	PM10	PM2,5	NOx	CO	BTX	O3	SO2	Pb	As	Ni	Cd	BaP
	PE	Pescara	<i>T. D'Annunzio</i>	N 4700733 m	E 437102 m	UB	X	X	X	X	X	X	X					
Agglomerato	PE	Pescara	<i>Via Sacco</i>	N 4700366 m	E 434150 m	UB	X		X									
CHIETI - PESCARA	PE	Pescara	<i>V. Firenze</i>	N 4702020 m	E 435376 m	UT	X	X	X	X	X							
(IT 1305)	PE	Montesilvano	<i>Montesilvano</i>	N 4707801 m	E 430126 m	UT	X	X	X	X	X							
	CH	Chieti Scalo	<i>Scuola Antonelli</i>	N 4688783 m	E 429050 m	UB	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	CH	Francavilla al Mare	<i>Francavilla</i>	N 4697015 m	E 429050 m	UB	X	X	X		X	X						
	AQ	L'Aquila	<i>Amiternum</i>	N 4691713 m	E 366938 m	UB	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA A	AQ	S Gregorio	<i>S Gregorio</i>	N 4687738 m	E 375604 m	SB			X		X	X						
MAGGIORE	TE	Teramo	<i>Gammarana</i>	N 4724660 m	E 395690 m	UB		X	X		X							
PRESSIONE ANTROPICA	TE	Teramo	<i>Porta Reale</i>	N 4723748 m	E 394297 m	UT	X		X	X				X	X	X	X	X
(IT 1306)	PE	Cepagatti	<i>ASL</i>	N 4690147 m	E 423332 m	RB			X		X	X						
	CH	Ortona	<i>Villa Caldari</i>	N 4682708 m	E 446950 m	SB			X	X	X	X						
	CH	Atessa	<i>Atessa</i>	N 4665673 m	E 453840 m	I	X			X	X							
ZONA A MINORE	AQ	Castel di Sangro	<i>Castel di Sangro</i>	N 4625609 m	E 425526 m	SB	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X
PRESSIONE ANTROPICA	AQ	L'Aquila	<i>Arischia</i>	N 4697123 m	E 364389 m	RB			X		X	X						
(IT 1307)	PE	S.Eufemia a Maiella	<i>PNM</i>	N 4663534 m	E 419701 m	RB			X		X	X						

Le stazioni i cui dati sono utilizzati nel presente lavoro sono (tra parentesi il codice con cui saranno citate nel seguito): *Teatro D'Annunzio (TH)*, *Via Firenze (FI)*, *Montesilvano (MO)*, *Scuola Antonelli (CH)*, *Francavilla (FR)*, *Amiternum (AQ)*, *Villa Caldari (OR)*, *Castel di Sangro (CS)*. TH, CH, FR, AQ sono stazioni di fondo urbano, FI e MO sono di traffico urbano, OR e CS fondo suburbano. Occorre notare che il monitoraggio di PM10 e PM2.5 nella stazione di Ortona non appare in tab. 1 in quanto non contemplato nel progetto della rete, tuttavia è stato successivamente implementato a seguito di specifica prescrizione AIA per uno stabilimento industriale del posto.

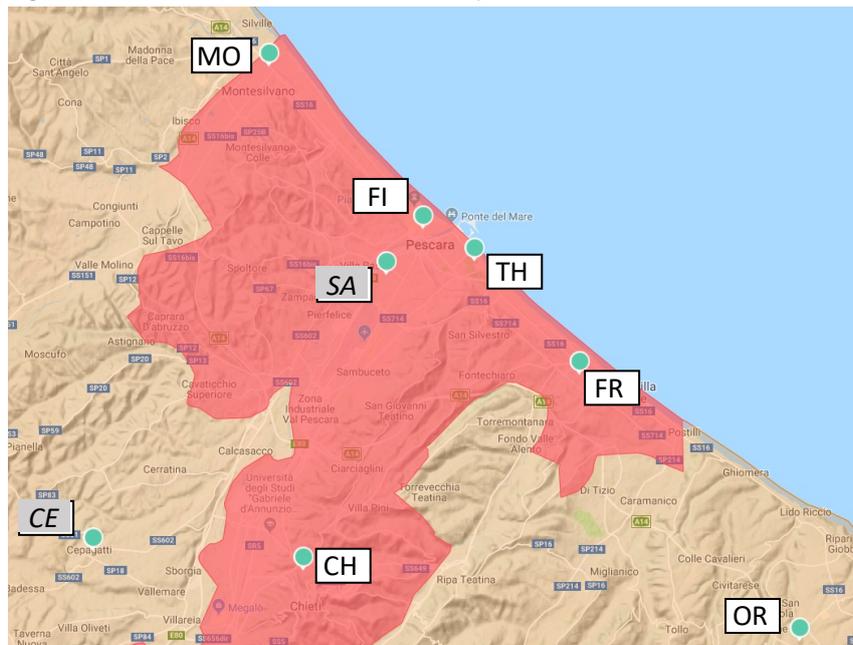
Le elaborazioni statistiche e i grafici sono stati realizzati con Microsoft Excel e in ambiente R con il package *openair* (Carslaw and Hopkins, 2012).

Figura 1 - Zonizzazione Regione Abruzzo e Stazioni di rilevamento della qualità dell'aria della rete regionale



In rosa AGG=Agglomerato, in azzurro quelle in MAXP= massima pressione antropica e in verde la stazione in MINP=minore pressione antropica

Figura 2 - Stazioni di rilevamento della qualità dell'aria nell'area costiera.



In rosso l'Agglomerato Pescara-Chieti (AGG). Le stazioni CE (Cepagatti) e SA (Via Sacco) non sono state considerate nel presente lavoro in quanto non destinate alla misura delle polveri sottili.

3. ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI E DISCUSSIONE

3.1. STATISTICA DESCRITTIVA

PM10 e PM2.5 vengono rilevati contemporaneamente in 8 stazioni della rete, di cui 5 collocate nell'Agglomerato PE-CH, 2 nella zona a maggiore pressione antropica e 1 nella zona a minore pressione antropica. La semplice media aritmetica dei valori rilevati nel biennio 2017-18 evidenzia che le concentrazioni più elevate si riscontrano nell'Agglomerato, mentre la stazione nella zona a minore pressione antropica (CS) presenta i valori più bassi in assoluto. Si registrano, inoltre, evidenti variazioni stagionali, con il semestre estivo (da aprile a settembre) caratterizzato da valori medi nettamente inferiori. Unica eccezione riguarda il PM10 rilevato nella stazione CS, probabilmente a causa del prevalere della componente naturale. Le variazioni stagionali si presentano più accentuate per il PM2.5, che risente maggiormente del contributo antropico.

Tabella 2 - Prospetto riassuntivo delle valori medi di PM2.5 misurati nelle 8 stazioni della rete nel biennio 2017-18 (valore medio nel semestre estivo, nel semestre invernale e sull'intero anno).

periodo	TH	FI	MO	CH	FR	OR	AQ	CS
<i>apr-set</i>	11.5	11.9	11.9	11.9	10.3	11.0	9.3	8.5
<i>ott-mar</i>	20.2	19.7	20.0	20.5	16.2	14.5	12.9	9.2
anno	15.9	15.8	15.9	16.3	13.2	12.7	11.1	8.8

Tabella 3 - Prospetto riassuntivo delle valori medi di PM10 misurati nelle 8 stazioni della rete nel biennio 2017-18 (valore medio nel semestre estivo, nel semestre invernale e sull'intero anno).

PM10	TH	FI	MO	CH	FR	OR	AQ	CS
<i>apr-set</i>	23.7	20.8	20.3	19.1	17.7	17.0	15.3	13.4
<i>ott-mar</i>	28.1	28.4	28.2	26.8	21.7	19.0	18.4	12.7
anno	25.9	24.6	24.3	23.1	19.7	18.0	16.8	13.1

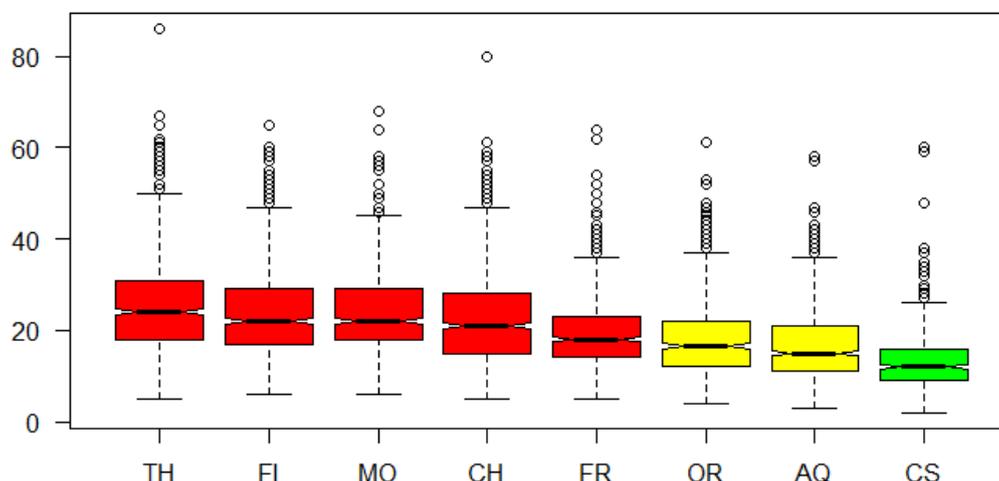
I valori medi del PM10 sono tutti al di sotto del limite annuale di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ stabilito dal D.Lgs. 155/2010, anche per le stazioni interne all'Agglomerato PE-CH. Anche per il PM2.5 si registra una piena conformità al valore limite di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valori medi (allineati sui 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) che denotano sostanziale omogeneità all'interno dell'Agglomerato (fatta eccezione per FR) e che si collocano comunque distanti da quelli riscontrati nel 2017 nelle maggiori città metropolitane del bacino padano (Torino 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Milano 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Venezia 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), risultando simili a quelli riscontrati nei grandi agglomerati del centro-sud quali Roma (17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Firenze 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Bari 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cattani *et al.*, 2018).

Nelle fig. 3 e 4 i *boxplot* sintetizzano le distribuzioni dei dati osservati in ciascuna stazione. Si noti come la stazione FR, posta in una zona periferica dell'Agglomerato, mostra una distribuzione sensibilmente diversa dalle altre quattro stazioni AGG, risultando più simile alla stazione OR. Le altre quattro stazioni AGG mostrano valori medi piuttosto simili, con le due stazioni di fondo (TH e CH) caratterizzate da una maggiore variabilità rispetto a quelle di traffico (FI e MO). Interessante rilevare come i livelli medi di PM2.5 nel semestre estivo siano molto simili nelle 5 stazioni AGG e in OR, mentre si mantengono leggermente inferiori nelle due restanti stazioni (AQ e CS), poste nell'entroterra appenninico. Nel semestre invernale le differenze tra le varie stazioni risultano molto più marcate.

I valori medi annui e del semestre invernale del rapporto PM2.5/PM10 (fig. 4) non evidenziano differenze marcate tra le varie stazioni, mentre nel semestre estivo le stazioni poste a distanze dal mare inferiori a 1 km (TH, FI, MO, FR) mostrano valori inferiori a 0.6. Si noti, in particolare, il comportamento peculiare della stazione TH, posta a soli 250 m dalla linea di costa, in cui il

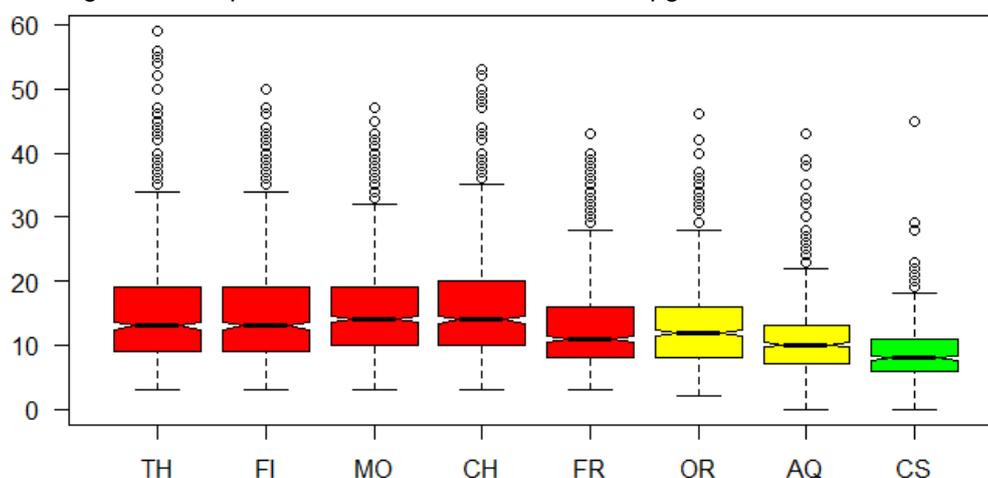
PM10, nel trimestre giugno-agosto, risente in misura rilevante dell'aerosol marino. Anche le stazioni MO, FI e FR subiscono questa influenza, seppure in misura inferiore, mentre nelle stazioni più interne, compresa OR (collocata a circa 7 km dalla costa), i valori del rapporto si mantengono superiori a 0.6 anche nei mesi estivi.

Figura 3 - Boxplot delle distribuzioni del PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nelle 8 stazioni della rete, biennio 2017-18.



In rosso le stazioni in AGG=Agglomerato, in giallo quelle in MAXP= massima pressione antropica e in verde la stazione in MINP=minore pressione antropica.

Figura 4 - Boxplot delle distribuzioni del PM2.5 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, biennio 2017-18.

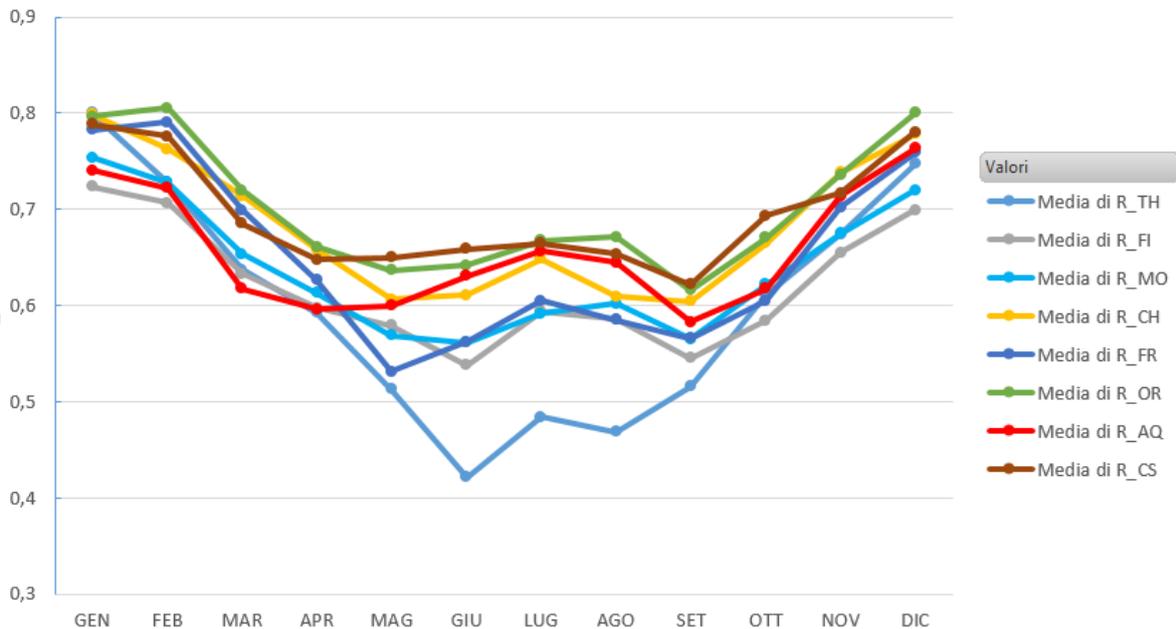


In rosso le stazioni in AGG=Agglomerato, in giallo quelle in MAXP= massima pressione antropica e in verde la stazione in MINP=minore pressione antropica.

Tabella 4 - Prospetto riassuntivo dei valori medi del rapporto PM2.5/PM10 nelle 8 stazioni della rete nel biennio 2017-18 valore medio nel semestre estivo, nel semestre invernale e sull'intero anno.

PM2,5/10	TH	FI	MO	CH	FR	OR	AQ	CS
<i>apr-set</i>	0.50	0.57	0.58	0.62	0.58	0.65	0.62	0.65
<i>ott-mar</i>	0.70	0.67	0.69	0.74	0.72	0.75	0.69	0.74
anno	0.60	0.62	0.64	0.66	0.65	0.70	0.66	0.69

Figura 5 - Grafico dei valori medi mensili del rapporto PM2.5/PM10 nelle 8 stazioni della rete regionale nel biennio 2017-18.



3.2 RUOLO DELLE VARIABILI METEOROLOGICHE

Il ruolo dell'aerosol marino nell'innalzare i livelli di PM10 nel trimestre estivo nelle stazioni più prossime alla costa, messo in luce nel paragrafo precedente, è ovviamente connesso alle brezze di mare (direzione di provenienza NE), come chiaramente evidenziato dalla *windrose* per Pescara, mostrata in fig. 6. Nel semestre invernale, invece, dominano i venti provenienti dai quadranti occidentali, ovvero dall'entroterra. Di particolare rilievo i venti da SSW, allineati all'asse della valle del fiume Pescara, tipici dei periodi anticiclonici durante i quali le condizioni di stabilità atmosferica favoriscono l'inversione termica e un generale peggioramento della qualità dell'aria. A conferma di ciò, il *polarplot* per la stazione TH (fig. 7, sinistra) mostra l'evidente influenza dei venti dal quadrante sud-occidentale, nelle situazioni in cui la velocità è inferiore a 1 m/s, nel determinare le concentrazioni più elevate di PM2.5. Per questa stazione di fondo urbano, posta a soli 250 m dal mare, infatti, le sorgenti antropiche di inquinamento (infrastrutture di trasporto e siti industriali) sono poste nell'area urbana che si sviluppa verso l'entroterra lungo la valle del Pescara. Si noti che l'analogo *polarplot* per il PM10 (fig. 7, destra) presenta pattern significativamente diversi, in cui la ventilazione dal quadrante SW perde di rilevanza, mentre si evidenzia il ruolo dei venti da NW e soprattutto NE (brezza di mare) nel determinare livelli elevati dell'inquinante, prevalentemente di origine naturale (in primis aerosol marino). Il *polarplot* in fig. 8 (sinistra) conferma che la ventilazione compresa tra le direzioni SSW-WNW corrisponde ai valori più elevati del rapporto tra PM2.5/PM10, in quanto determina avvezione di PM2.5 di origine antropica.

Di contro, venti provenienti da NW/WNW caratterizzano i periodi perturbati con irruzioni di aria fredda dai quadranti settentrionali, che favoriscono il rimescolamento riducendo in misura sensibile l'inquinamento di origine antropica ed innalzando a volte la componente di origine naturale (risospensione di polvere dal suolo nei periodi secchi). Nella porzione destra della fig. 8 mostriamo il *polarplot* del rapporto per la stazione CH, che evidenzia valori elevati in corrispondenza di ventilazione debole dai quadranti occidentali, dove sono poste, rispetto al sito di misura, le maggiori fonti di emissione antropica (infrastrutture di trasporto e l'area industriale di Chieti).

Figura 6 - Windrose stagionale per la stazione meteorologica di Pescara, biennio 2017-2018.

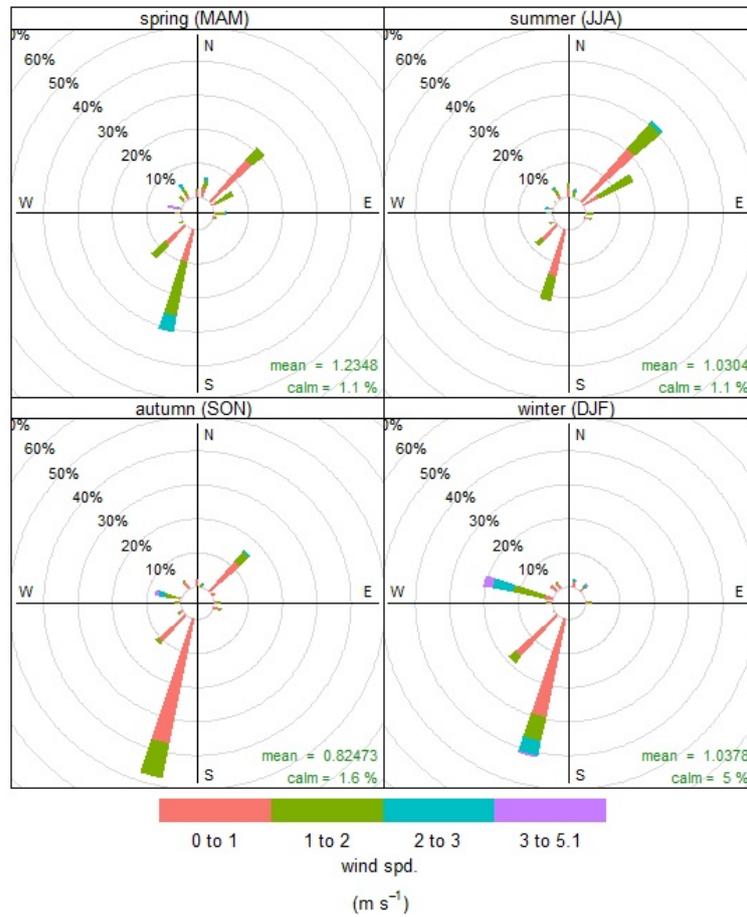


Figura 7 - Polarplot per il PM_{2.5} (sinistra) e PM₁₀ (a destra), stazione TH, biennio 2017-2018.

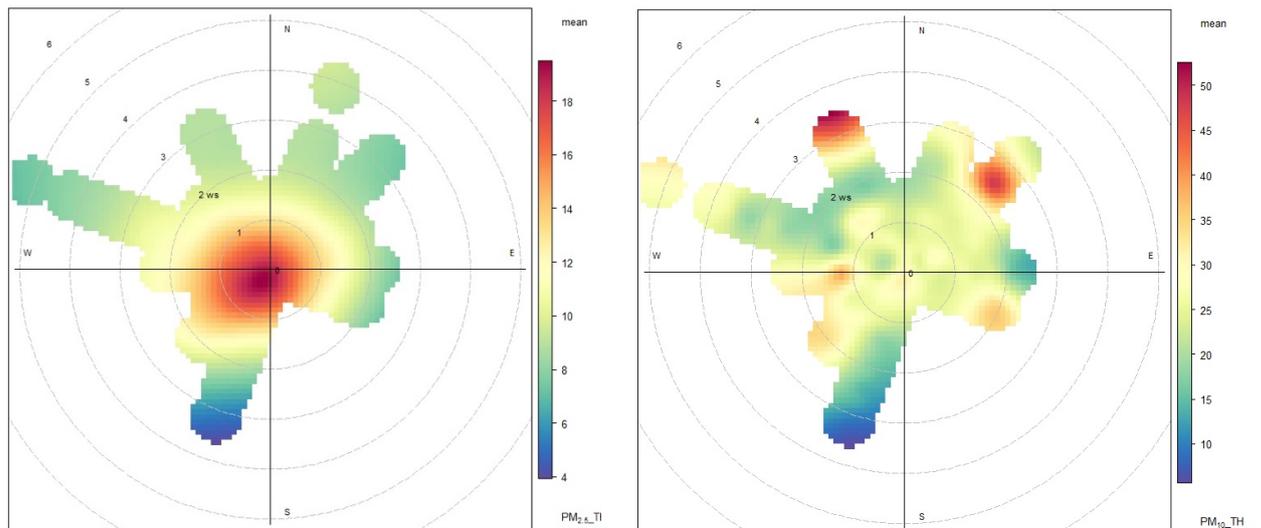
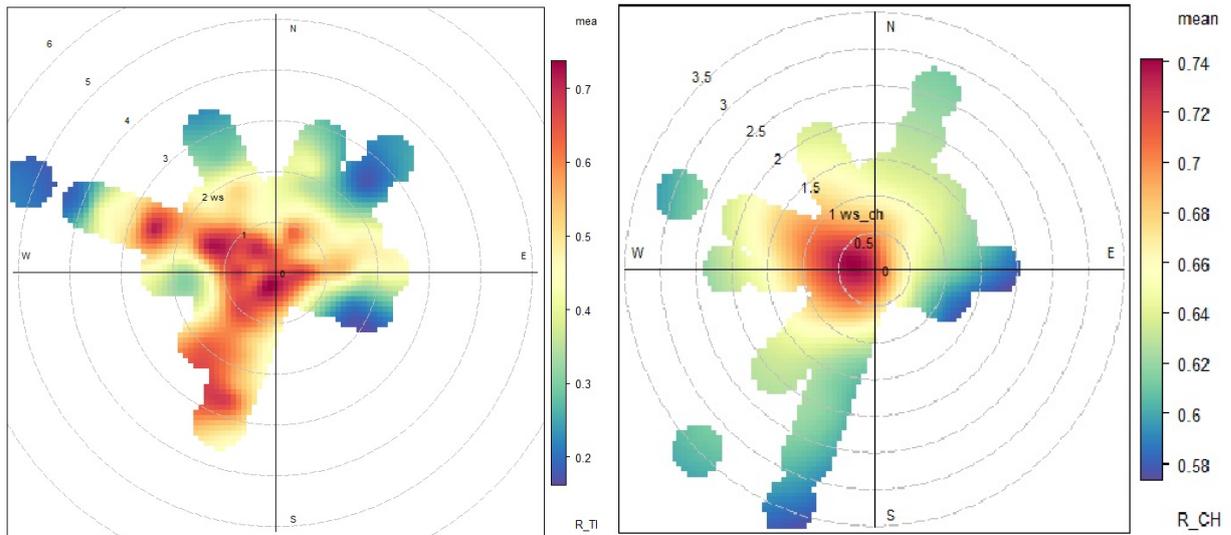


Figura 8. Polarplot del rapporto PM2.5/PM10 a TH (sinistra) e CH (destra), biennio 2017-2018.



3.3 CORRELAZIONE TRA LE VARIE STAZIONI

Il problema della determinazione del grado di omogeneità spazio-temporale delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria può essere affrontato utilizzando il coefficiente di correlazione di Pearson (Zauli Sajani et al., 1994), unitamente al coefficiente di concordanza di Lin (Biggeri et al., 2003; Palermo et al., 2016). Il coefficiente di correlazione di Pearson (ρ_{xy}) è una misura della correlazione lineare tra due variabili x e y (nel caso in esame, coppie di misure giornaliere della concentrazione di PM10 o PM2.5 presso due stazioni), che consente di determinare se le due variabili (serie temporali di dati accoppiati) siano in fase. In formule:

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

Il coefficiente di Lin (ρ_c) (Lin, 1989) esprime il grado di concordanza lineare tra le due variabili, combinando misure di precisione e di accuratezza al fine di determinare di quanto coppie di dati sperimentali deviano dalla linea di perfetta concordanza, ovvero dalla bisettrice del piano cartesiano sui cui assi sono riportati, nel caso specifico, i valori delle misure contestuali dell'inquinante effettuate dalle due stazioni prese in esame (vedi p. es. fig. 10 e 11):

$$\rho_c = \frac{2\rho_{xy}\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (\mu_x - \mu_y)^2} \quad (2)$$

Nelle relazioni (1) e (2) i simboli μ e σ rappresentano, rispettivamente, media e deviazione standard delle due variabili x e y , mentre σ_{xy} è la loro covarianza.

In Tabella 5 riportiamo i valori di ρ_{xy} per tutte le coppie di misure del PM2.5 per le 5 stazioni appartenenti all'Agglomerato più OR, sia per il semestre estivo che in quello invernale. Si può osservare quanto segue:

- Le stazioni di fondo urbano appartenenti ad AGG (TH, CH, FR) sono tra loro correlate in misura maggiore nel semestre invernale; è di rilievo, peraltro, che il valore più alto di correlazione si registri nel semestre invernale tra TH e FI, con la seconda che è una stazione da traffico ma collocata a soli 2 km dalla prima.
- le due stazioni da traffico (FI-MO) mostrano elevati valori di correlazione in entrambi i semestri, con il valore maggiore che si registra nel semestre estivo.
- Ortona (OR), in quanto stazione periferica non appartenente all'AGG, si correla a tutte le altre in misura meno significativa.

Una spiegazione può risiedere nel fatto che nel semestre invernale sono prevalenti situazioni di stabilità atmosferica favorevoli all'aumento delle concentrazioni e allo loro omogeneizzazione spaziale su ampie aree geografiche, per cui le stazioni di fondo urbano tendono a registrare valori simili a quelle poste in prossimità delle sorgenti di emissione, per esempio il traffico (in altre parole, i gradienti spaziali di concentrazione si riducono).

Al contrario, le condizioni meteo tipiche del semestre estivo favoriscono la dispersione degli inquinanti, aumentando i gradienti spaziali di concentrazione e riducendo di conseguenza il grado di correlazione tra stazioni. Nel solo caso delle stazioni da traffico, questa riduzione non si verifica (si registra persino un lieve aumento) grazie alla stretta prossimità del punto di campionamento alla sorgente di emissione.

Tabella 5 - Matrice del coefficiente di correlazione lineare di Pearson per il PM2.5 (semestre estivo sopra la diagonale, semestre invernale al di sotto), per le 6 stazioni della fascia costiera

<i>PM2.5</i>	TH	FI	MO	CH	FR	OR
TH		0.934	0.904	0.857	0.922	0.872
FI	0.953		0.954	0.902	0.926	0.902
MO	0.885	0.943		0.882	0.925	0.898
CH	0.923	0.913	0.847		0.874	0.875
FR	0.930	0.948	0.912	0.905		0.891
OR	0.851	0.893	0.847	0.883	0.914	

Il coefficiente di Lin, calcolato per alcune delle coppie di stazioni di cui alla tab. 5, conferma sostanzialmente quanto suggerito dall'analisi del coefficiente di Pearson, evidenziando (tab. 6) valori elevati di concordanza solo per le coppie FI-MO e TH-FI e, limitatamente al semestre invernale, per la coppia di stazioni di fondo urbano TH-CH, entrambe appartenenti all'Agglomerato ma collocate ai due estremi dello stesso (TH è vicinissima al mare, CH è posta nella valle del Pescara a 15 km dalla costa).

Quest'ultimo dato conferma che nel semestre invernale si determinano condizioni di elevata omogeneità nella distribuzione spaziale del PM2.5 nell'ambito dell'Agglomerato.

Tabella 6 - Coefficiente di Lin per il PM2.5, calcolato per alcune coppie di stazioni, per entrambi i semestri.

<i>PM2.5</i>	FI-MO	MO-FR	FI-TH	FI-FR	TH-FR	TH-MO	TH-CH	CH-OR	TH-OR
APR-SET	0.951	0.857	0.930	0.862	0.884	0.899	0.851	0.855	0.863
OTT-MAR	0.934	0.841	0.947	0.879	0.836	0.861	0.919	0.708	0.685

Un'ulteriore analisi è stata condotta esaminando la variazione del coefficiente di correlazione di Pearson per il PM2.5 misurato presso le due stazioni TH e CH, in funzione della direzione prevalente di provenienza del vento (senza distinguere tra semestre estivo e invernale). In sintesi, i valori più elevati (tra 0.931 e 0.944) si hanno per ventilazione dai quadranti occidentali (in particolare SSW e SW, le direzioni di gran lunga prevalenti), mentre i valori inferiori (tra 0.81 e 0.87) si hanno per ventilazione proveniente dai quadranti orientali (da NNE a ESE). Si noti che la ventilazione da SW-SSW è diretta lungo l'asse della valle del Pescara (nella quale sono poste le maggiori sorgenti di emissione antropica di particolato), dall'interno verso la costa, mentre la ventilazione dai quadranti orientali trasporta aria di origine marina, povera di particolato di origine antropica.

Figura 10 - *Scatterplot* del PM2.5 misurato nelle stazioni di fondo urbano TH (Teatro D'Annunzio) e CH (Scuola Antonelli), semestre estivo (sinistra) e invernale (destra).

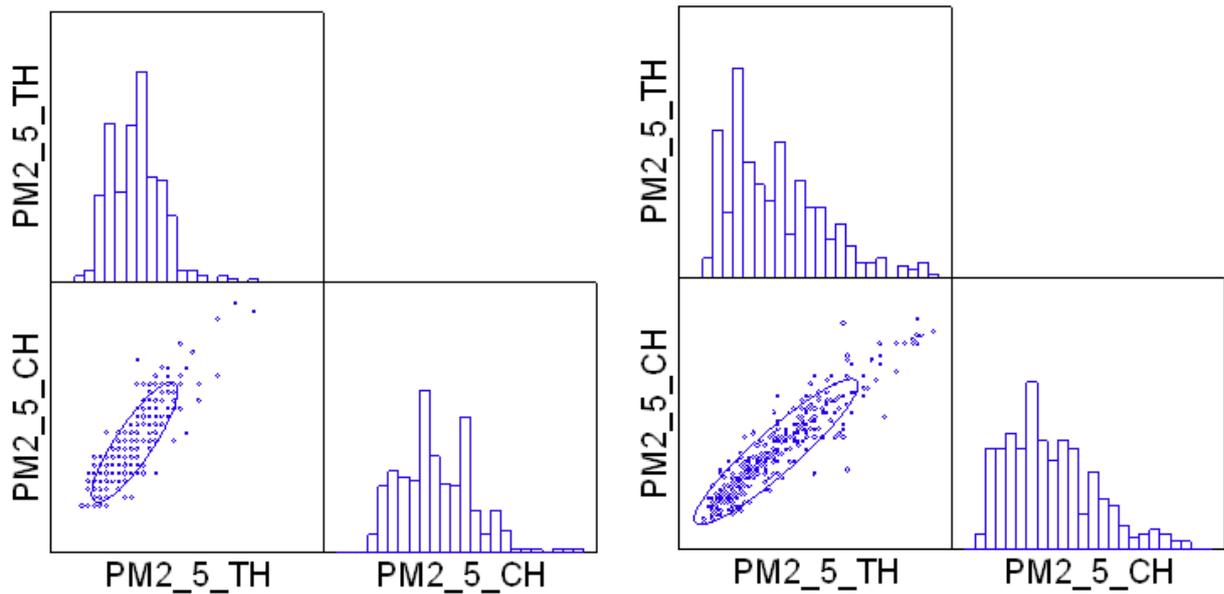
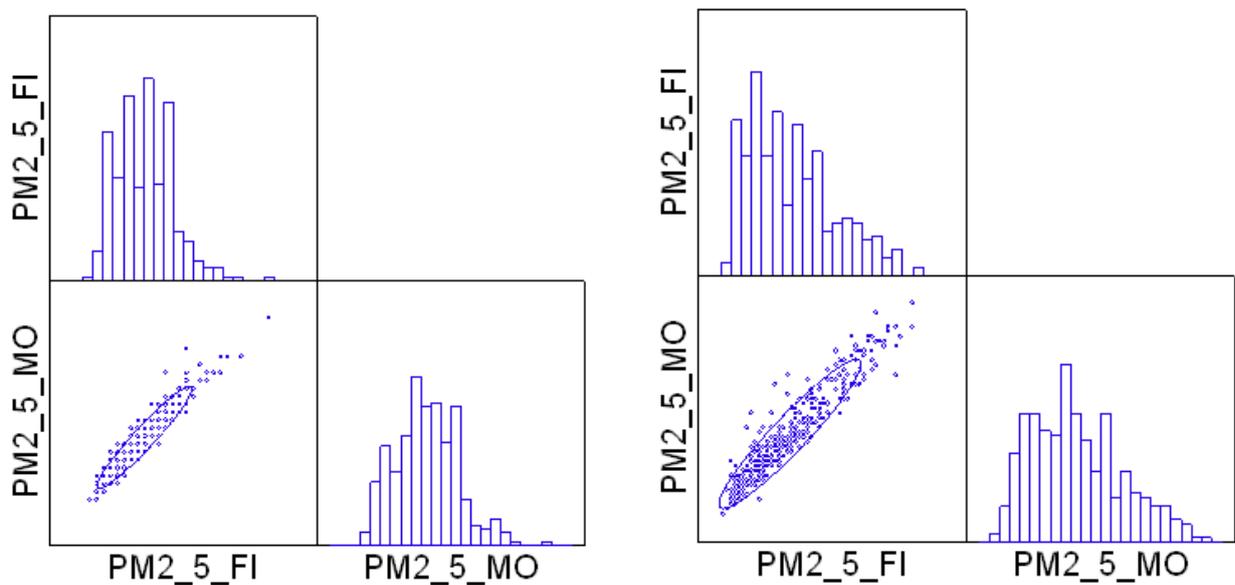


Figura 11. *scatterplot* del PM2.5 misurato a nelle stazioni di traffico FI (Firenze) e MO (Montesilvano), semestre estivo (sinistra) e invernale (destra).



4. CONCLUSIONI

A partire dal 2017 la qualità dell'aria in Abruzzo è monitorata da una rete progettata in coerenza con la zonizzazione del territorio stabilita con apposita Delibera di Giunta Regionale. Nel presente lavoro sono stati analizzati i dati di PM10 e PM2.5 misurati, nel biennio 2017-18, in 8 stazioni della rete, di cui 5 nell'Agglomerato Pescara-Chieti, 2 nella zona a maggiore pressione antropica e 1 nella zona a minore pressione antropica. In linea con le attese, le concentrazioni più elevate si riscontrano nell'Agglomerato. Si registrano, inoltre, evidenti variazioni stagionali, più accentuate per il PM2.5, che risente maggiormente del contributo antropico. I valori medi del PM10 e del PM2.5 sono tutti al di sotto dei limiti annuali stabiliti dal D.Lgs. 155/2010

(rispettivamente di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), anche per le stazioni dell'Agglomerato PE-CH, caratterizzato da una sostanziale omogeneità spaziale dei livelli di inquinamento. I valori medi del rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ evidenziano differenze marcate tra le varie stazioni solo nel semestre estivo, a causa del contributo rilevante dell'aerosol marino di cui risentono le stazioni poste in prossimità della linea di costa. Nel semestre invernale, invece, dominano i venti provenienti dai quadranti occidentali, ovvero dall'entroterra, tipici, in particolare, dei periodi anticiclonici durante i quali le condizioni di stabilità atmosferica favoriscono l'inversione termica e un generale peggioramento della qualità dell'aria.

Le analisi degli indici di correlazione spaziale tra le varie stazioni, all'interno dell'Agglomerato, confermano il quadro sopra descritto, ovvero una notevole omogeneità spaziale delle concentrazioni di PM nel semestre invernale, per cui le stazioni di fondo urbano tendono a registrare valori simili a quelle poste in prossimità delle sorgenti di emissione, per esempio il traffico (i gradienti spaziali di concentrazione si riducono). Al contrario, le condizioni meteorologiche tipiche del semestre estivo favoriscono il rimescolamento dello strato limite e la dispersione degli inquinanti, ripristinando i gradienti spaziali di concentrazione e riducendo di conseguenza il grado di correlazione tra stazioni.

Il presente lavoro va considerato quale primo approccio ad indagini di maggiore complessità che mirino all'identificazione delle maggiori sorgenti di particolato (in particolare nell'Agglomerato) mediante modelli regressivi multivariati e reti neurali. Inoltre, il contributo di sorgenti naturali (ed in particolare dell'aerosol marino) potrà essere verificato mediante analisi al microscopio elettronico dei filtri.

Bibliografia

Biggeri A., Baccini M., Accetta G., Bellini A., Grechi D., *Valutazione di qualità delle misure di concentrazione degli inquinanti atmosferici nello studio dell'effetto a breve termine dell'inquinamento sulla salute*, 2003, *Epidemiologia e Prevenzione* 27(6):365-75.

Cattani G., Di Menno Di Bucchianico A., Gaeta A., Gandolfo G., Leone G., *XIV Rapporto Qualità dell'ambiente urbano - Cap. 5 Inquinamento dell'aria e cambiamenti climatici*, 2018, ISPRA Stato dell'Ambiente 82/2018.

Carlsaw D.C., Ropkins K., *openair — An R package for air quality data analysis*, 2012, *Environmental Modelling & Software*, 27–28(0), 52–61.

Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155, *Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa*, G.U. n. 216 del 15/09/2010 - suppl. ord. n. 217.

D.G.R. Abruzzo n.1030 del 15 Dicembre 2015 ed allegato A, *Zonizzazione del territorio regionale e classificazione di cui all'art.3 e art.4 del D.LGS 155/2010 delle zone e agglomerati ai fini della redazione del programma di valutazione, aggiornamento*, B.U.R.A. Ordinario n. 6 del 17/02/2016.

Dominici F., Greenstone M., Sunstein C.R., *Particulate matter matters*, 2014, *Science* 344: 257–259

Palermi S., Polidoro M., Di Tommaso S., Colangeli C., Bianco S. *Omogeneità spaziale delle concentrazioni di Benzo(a)Pirene misurate presso due stazioni nell'area urbana di Pescara*, *Bollettino degli Esperti Ambientali*, 2016/3, pagg. 45-58.

Zauli Sajani S., Scotto F., Lauriola P., Galassi F., Montanari A., *Urban Air Pollution Monitoring and Correlation Properties between Fixed-Site Stations*, 1994, *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 54.

Lin L. I-K., *A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility*, 1989, *Biometrics* 45, 255-268.

Speranza A., Caggiano R., Margiotta S., Trippetta S., (2014). *A novel approach to comparing simultaneous size-segregated particulate matter (PM) concentration ratios by means of a dedicated triangular diagram using the agri valley pm measurements as an example*, 2014, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14: 2727–2733.

Sugimoto, N., Shimizu, A., Matsui, I., Nishikawa, M. *A method for estimating the fraction of mineral dust in particulate matter using PM_{2.5}-to-PM₁₀ ratios*, 2016, *Particuology* 28:114–120.