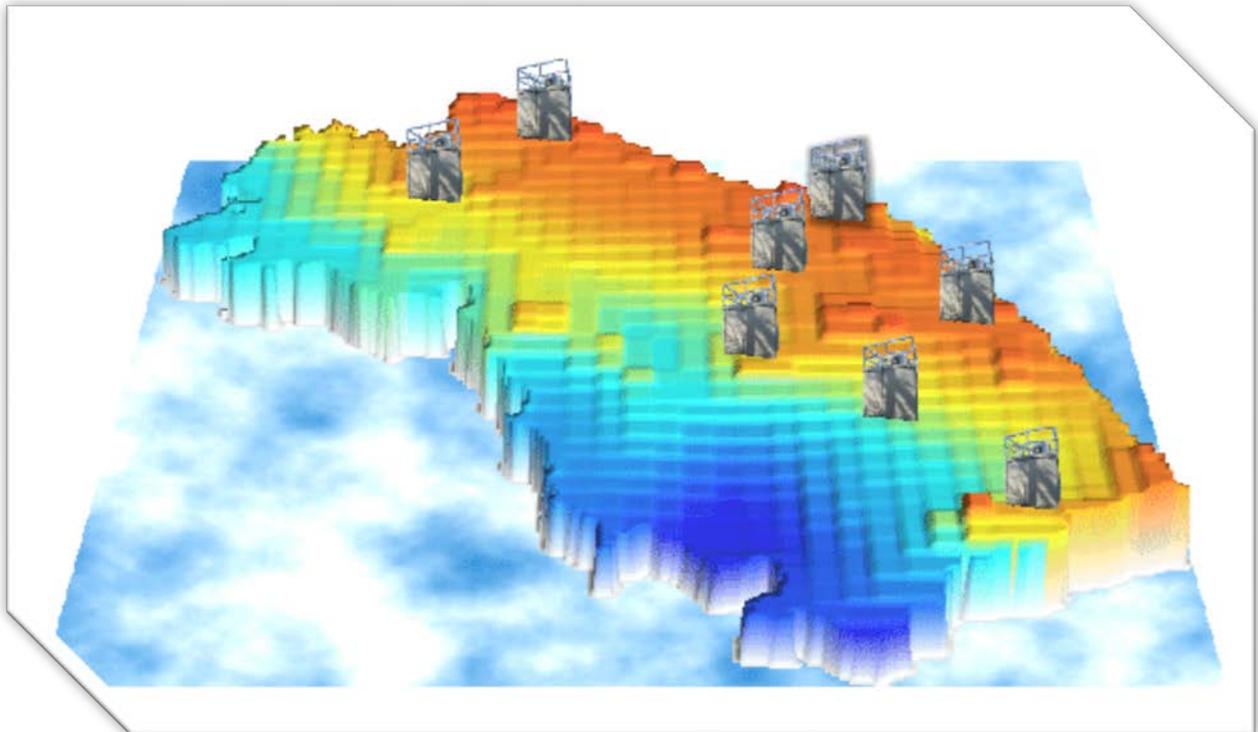


MODELLISTICA ATMOSFERICA E CENTRALINE DI MONITORAGGIO NELLE MARCHE

KATIUSCIA DI BIAGIO, MARCO BALDINI, SILVIA BARTOLACCI, T.V. SIMEONI, MAURO MARIOTTINI
AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTALE DELLE MARCHE



Marzo 2015

SOMMARIO

ABSTRACT	3
1. INTRODUZIONE	4
2. MATERIALI E METODI	4
3. RISULTATI	6
3.1. Posizione geografica delle centraline	6
3.2. PM ₁₀	8
3.3. PM _{2,5}	10
4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	12
5. RINGRAZIAMENTI	13
6. BIBLIOGRAFIA	13

ABSTRACT

Obiettivi

L'obiettivo del presente lavoro è quello di valutare il grado di simulazione del sistema modellistico atmosferico MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione internazionale sui temi dell'Inquinamento atmosferico) di diffusione in aria del PM₁₀ e del PM_{2,5}, implementato dall'ENEA, rispetto ai dati delle centraline fisse di monitoraggio del particolato situate nel territorio marchigiano e disponibili nel database BRACE.

Dati e metodi

Le stime del modello MINNI, con risoluzione spaziale di 4 x 4 km, relative all'anno 2007, sono state comparate con i valori medi annuali delle concentrazioni di PM₁₀ e di PM_{2,5} rilevate nello stesso anno nelle stazioni fisse di tipo fondo della Rete Regionale della Qualità dell'Aria delle Marche.

Il confronto è stato effettuato in accordo ai "Criteri per l'utilizzo dei metodi di valutazione diversi dalle misurazioni in siti fissi" stabiliti nel Decreto Legislativo 155/10 utilizzando indicatori quali il Bias, il Fractional Bias, il Normalized Mean Bias Factor, il Root Mean Square Error, il coefficiente di correlazione di Spearman e di Pearson e il diagramma di Taylor.

Risultati

Per entrambi gli inquinanti le stime del bias, del fractional bias e del normalized mean bias factor risultano negative con un errore medio di stima in termini di concentrazione pari, rispettivamente, a 10 µg/m³ per il PM₁₀ e 6,3 µg/m³ per il PM_{2,5}. Rispetto al PM_{2,5}, per il PM₁₀ il modello cattura più adeguatamente la variabilità del processo osservato.

Conclusioni

Il sistema modellistico atmosferico MINNI, comparato con le medie annue dei dati rilevati dalle centraline di fondo nelle Marche, presenta una tendenza alla sottostima delle concentrazioni di particolato; tali conclusioni a livello marchigiano confermano quanto è emerso a livello italiano per il PM₁₀.

KEYWORDS :

MINNI, Diagramma Taylor, PM₁₀, PM_{2,5}

1. INTRODUZIONE

L'obiettivo del presente lavoro è quello di valutare la capacità del modello di diffusione del PM₁₀ e del PM_{2,5} in aria, implementato dall'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), rispetto ai dati delle centraline fisse di monitoraggio del particolato situate nel territorio marchigiano e disponibili nel database BRACE. Il confronto tra le due serie di dati è stato effettuato in accordo ai "Criteri per l'utilizzo dei metodi di valutazione diversi dalle misurazioni in siti fissi" stabiliti dal Decreto Legislativo n. 155/10.

2. MATERIALI E METODI

Le concentrazioni degli inquinanti prodotte dalla simulazione dei processi chimici e fisici in atmosfera con il sistema modellistico MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione internazionale sui temi dell'Inquinamento atmosferico), sviluppato dall'ENEA, sono riferite all'anno 2007 ed hanno una risoluzione spaziale di 4 x 4 km (1). Tale modello simula le dinamiche dell'inquinamento atmosferico a scala nazionale fornendo relazioni fra sorgenti e concentrazioni/deposizioni al suolo, tenendo conto delle trasformazioni chimiche dei gas e del particolato e del contributo generato oltre i confini nazionali.

I valori medi annui delle concentrazioni di PM₁₀ e di PM_{2,5} rilevate nel 2007 sono relativi alle stazioni fisse di tipo fondo della Rete Regionale della Qualità dell'Aria delle Marche e sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1. PM₁₀ e PM_{2,5}: misurazioni osservate e da modello MINNI in 8 stazioni di fondo nelle Marche per l'anno 2007

Stazioni di fondo	PM ₁₀		PM _{2,5}	
	Centraline	Mod. ENEA	Centraline	Mod. ENEA
Pesaro - Via Scarpellini, tipo zona= Suburbana	36,50	31,63	25,60	17,83
Urbino - Via Neruda, tipo zona= Suburbana	31,90	17,87		
Chiaravalle/2, tipo zona= Suburbana	37,00	21,62	26,70	14,91
Ancona Cittadella, tipo zona= Urbana	34,20	21,98	20,20	12,68
Genga - Parco Gola della Rossa, tipo zona= Rurale	28,10	15,08	18,30	11,96
Macerata - Collevario, tipo zona= Urbana	22,10	21,86	12,10	15,02
Civitanova Marche - Ippodromo, tipo zona= Rurale	20,90	20,23	12,50	14,05
Ascoli Piceno Monticelli, tipo zona= Urbana	24,50	19,71	15,80	13,10

Per effettuare un confronto corretto tra i dati ottenuti dalle stazioni fisse e quelli acquisiti dalla modellistica è necessario che le centraline siano rappresentative dell'area di territorio pari alla risoluzione del modello. A tal fine, attraverso la sovrapposizione delle coordinate geografiche delle centraline sul grigliato orizzontale 4 x 4 km, è stata valutata la posizione dei monitor rispetto al centro della cella; per le 8 centraline considerate nello studio

sono stati riportati i dettagli delle mappe con le relative posizioni all'interno della cella 4 x 4 km.

Il confronto tra le due serie di dati è stato effettuato secondo i "Criteri per l'utilizzo dei metodi di valutazione diversi dalle misurazioni in siti fissi" (Appendice III, D.Lgs. n. 155/10 articolo 5, comma 1 e artt. 22 commi 5 e 7) (2) utilizzando indicatori quantitativi e qualitativi.

Gli indicatori quantitativi utilizzati sono il Bias, il Fractional Bias, il Normalized Mean Bias Factor, il Root Mean Square Error, il coefficiente di correlazione di Spearman e il coefficiente di correlazione lineare di Pearson. Nello specifico:

- Il Bias (differenza tra i valori misurati dalle centraline fisse e quelli simulati da modello) indica la sovrastima o sottostima del modello in termini assoluti e valori prossimi a zero indicano che il modello presenta una buona adattabilità ai valori osservati;
- il Fractional Bias (FB) indica la tendenza in media del modello alla sottostima o alla sovrastima, dove valori prossimi a zero indicano che il modello presenta una buona adattabilità ai valori osservati;
- il Normalized Mean Bias Factor (NMBF) è una misura normalizzata del fattore di sottostima o sovrastima del modello rispetto alle osservazioni, dove un valore basso dell'indice indica una buona performance del modello;
- il Root Mean Square Error (RMSE, radice dell'errore quadratico medio) fornisce una stima della dimensione degli errori prodotti dal modello, dove valori vicini a zero indicano che il modello mostra una buona precisione;
- il coefficiente di correlazione di Spearman misura il grado di associazione tra le due serie di dati attraverso una funzione monotona, dove un valore prossimo a uno indica un'alta correlazione positiva;
- il coefficiente di correlazione lineare di Pearson misura il grado di associazione tra le due serie di dati attraverso una funzione lineare, dove un valore prossimo a uno indica un'alta correlazione lineare positiva.

Tra gli indicatori qualitativi è stato utilizzato il diagramma di Taylor (3) che permette di valutare con maggiore immediatezza la precisione e l'accuratezza delle stime modellistiche rispetto a quelle rilevate dalle centraline di monitoraggio. Il diagramma sintetizza graficamente la distanza tra le stime del modello e le misure delle centraline riportando, in un grafico a coordinate polari, i coefficienti di correlazione, il root mean square error e il rapporto tra le deviazioni standard delle due serie di dati, che comunemente viene indicato Skill-Var. Nello specifico:

- il valore della correlazione lineare di Pearson viene riportato nella partizione dell'angolo tra l'asse delle ascisse e quello delle ordinate;
- la radice dell'errore quadratico medio (RMSE) risulta proporzionale alla distanza che intercorre tra il punto che identifica il modello in studio e il punto che identifica il modello ottimale rappresentato sulle ascisse;
- il rapporto tra la deviazione standard delle stime modellistiche e quella dei dati delle centraline è rappresentato dalla distanza radiale dall'origine degli assi.

Sul diagramma di Taylor la performance del modello in esame è identificata con il punto rosso e il modello ottimale è rappresentato con un cerchio nero sull'asse delle ascisse; tanto più il punto rosso è vicino a quello nero tanto più le stime modellistiche rappresentano bene le misurazioni delle centraline: in questo caso infatti le due serie di dati (osservati e da modello) presentano un valore di correlazione alto, un basso valore dell'errore quadratico medio e un'ottima capacità di modellare la reale variabilità del processo osservato.

3. RISULTATI

3.1. POSIZIONE GEOGRAFICA DELLE CENTRALINE

Nella Figura 1 sono riportati i dettagli delle mappe geografiche delle celle 4 x 4 km con le localizzazioni delle 8 centraline analizzate nello studio.

A differenza di tutte le centraline analizzate, quelle di Ancona Cittadella e di Macerata Collevario sono posizionate vicino ai bordi della cella. Le differenze di concentrazione di PM₁₀ e PM_{2,5} tra la cella in cui è posizionata la centralina di Ancona Cittadella e quella adiacente (a sinistra) sono, rispettivamente, di 0,3 µg/m³ e 0,6 µg/m³ (Tabella 2); relativamente alla centralina di Macerata Collevario la differenza di concentrazione tra le due celle adiacenti è di 0,4 µg/m³ per il PM_{2,5} e di 1,8 µg/m³ per il PM₁₀ (Tabella 3). Tenendo conto che la differenza di PM₁₀ tra la stima modellistica della cella in cui è localizzata la centralina di Macerata Collevario e quella adiacente non è trascurabile, è stata effettuata un'analisi di sensibilità del modello al variare del valore della stima modellistica da 21,9 µg/m³ a 20,1 µg/m³.

Tabella 2. Ancona Cittadella: valori di particolato nelle celle 4 x 4 km adiacenti

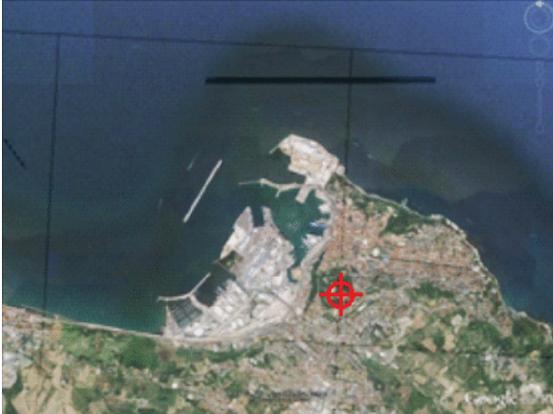
Inquinante	Cella sinistra	Cella di Ancona Cittadella	Differenza in µg/m ³
PM ₁₀	22,3	22,0	0,3
PM _{2,5}	13,3	12,7	0,6

Tabella 3. Macerata Collevario: valori di particolato nelle celle 4 x 4 km adiacenti

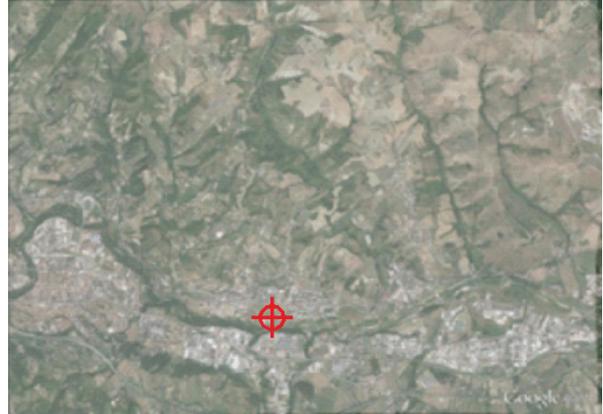
Inquinante	Cella di Macerata Collevario	Cella in basso	Differenza in µg/m ³
PM ₁₀	21,9	20,1	1,8
PM _{2,5}	15,0	14,7	0,4

Figura 1. Posizione geografica delle centraline rispetto al grigliato orizzontale 4 x 4 km

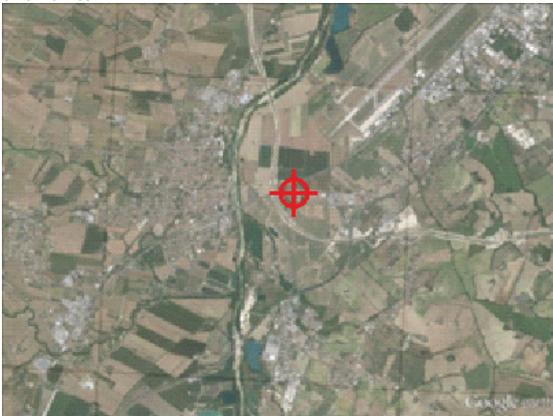
Ancona Cittadella:



Ascoli Piceno Monticelli:



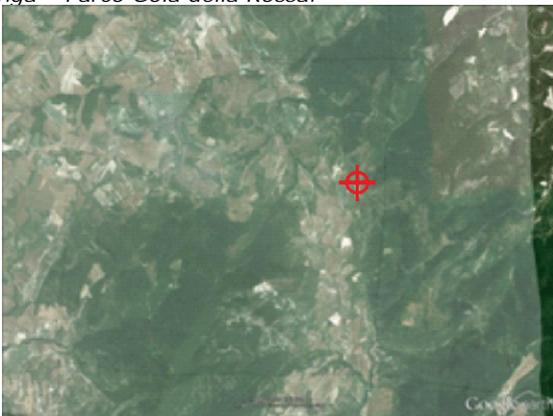
Chiaravalle/2:



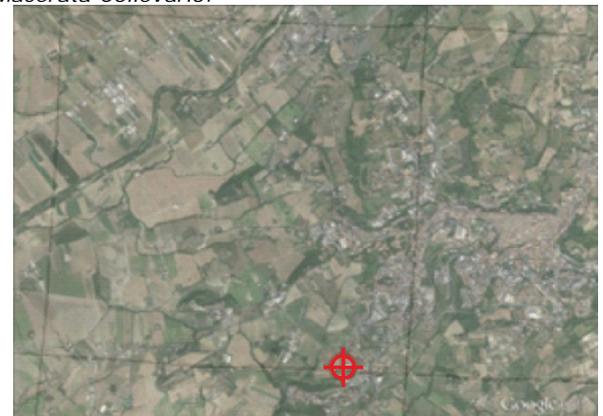
Civitanova Marche – Ippodromo:



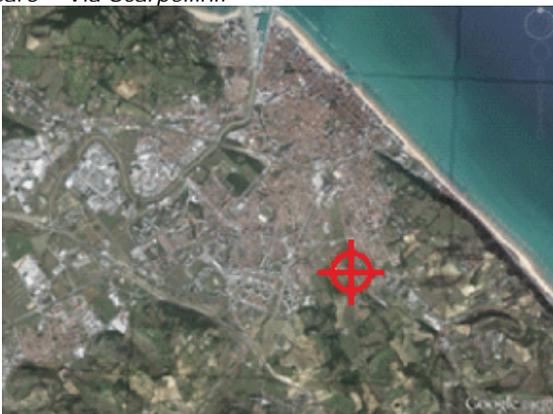
Genoa – Parco Gola della Rossa:



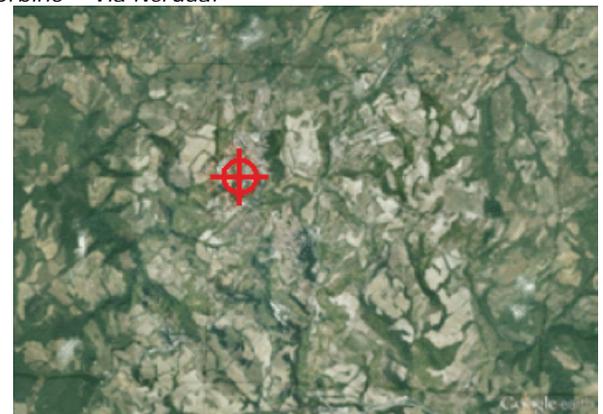
Macerata Collevario:



Pesaro – Via Scarpellini:



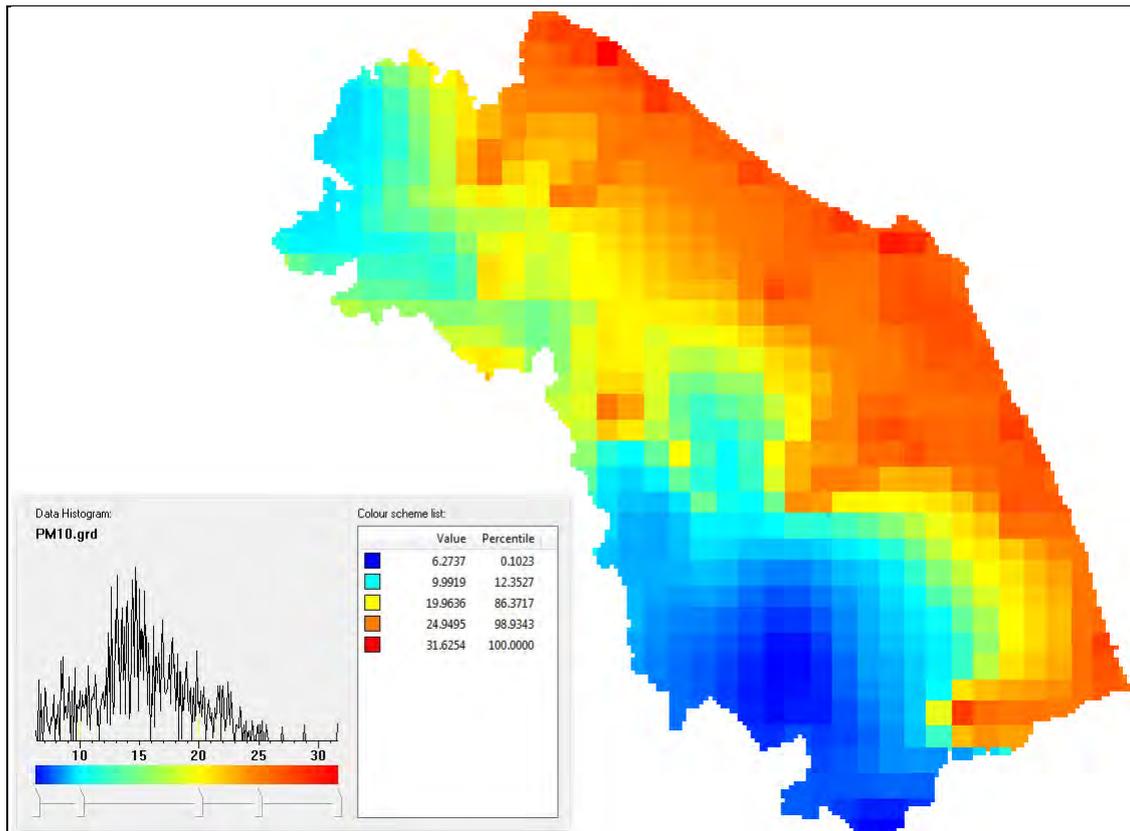
Urbino – Via Neruda:



3.2. PM₁₀

I valori delle concentrazioni del PM₁₀ stimate dal modello, con la relativa distribuzione in quintili nelle celle territoriali, sono stati riportati sulla mappa in Figura 2; i colori corrispondono ai diversi quintili della distribuzione dove, in particolare, il rosso è riferito al 20% delle celle dove le concentrazioni di PM₁₀ sono più alte e il blu identifica il 20% delle celle con le concentrazioni più basse.

Figura 2. Concentrazioni da modello del particolato PM10 (µg/m³)



Le otto centraline di fondo presentano mediamente un valore di concentrazione di PM₁₀ pari a 29,4 µg/m³ con una deviazione standard di 6,4 µg/m³, mentre il valore medio stimato dal modello e rilevato delle corrispondenti 8 celle è pari a 21,25 µg/m³ con una deviazione standard di 4,81 µg/m³ (Tabella 4).

Tabella 4. PM₁₀: Valori medi delle centraline fisse e delle celle della modellistica in µg/m³

	Centraline di fondo	Modello
N	8	8
Media	29,40	21,25
Dev.Std.	6,42	4,81

Per il PM₁₀, i valori degli indicatori quantitativi, con i corrispondenti valori ottimali, calcolati in accordo ai criteri fissati dal decreto legislativo 155/10 sono riportati in Tabella 5.

Dalle stime del bias, del fractional bias e del normalized mean bias factor risulta che il modello sottostima i valori rilevati dalle centraline (valori inferiori a zero) con un errore medio di stima, in termini di concentrazione, di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gli indici di correlazione mostrano una debole associazione tra le due serie di dati, sia di tipo lineare che non parametrica, essendo entrambi inferiori a 0,50, mentre lo Skill-Var, pari a 0,75, evidenzia che il modello ha una sufficiente capacità di riprodurre la variabilità delle osservazioni.

Tabella 5. PM₁₀: indicatori quantitativi di valutazione della capacità del modello.

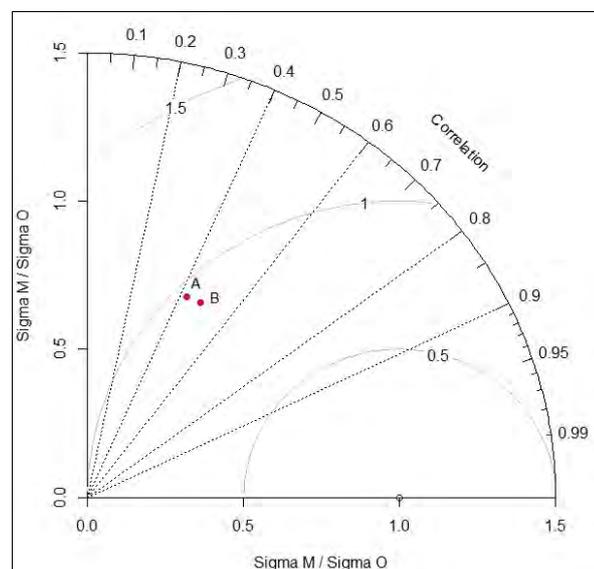
	Unità di misura	Stima	Valore ottimale dell'indice
Bias	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-8,15	0
Fractional Bias	adimensionale	-0,32	0
Normalized Mean Bias Factor	adimensionale	-0,38	0
Root Mean Square Error	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10,00	0
Correlazione di Spearman	adimensionale	0,36	1
Correlazione di Pearson	adimensionale	0,42	1
Skill Var	adimensionale	0,75	1

Nel diagramma di Taylor, riportato in Figura 3, la performance del modello che simula la diffusione del PM₁₀ in aria è rappresentata dal punto rosso mentre la condizione di perfetta adattabilità dello stesso ai dati è identificata con un punto nero sull'asse delle ascisse.

Il punto con la lettera "A" indica la performance del modello considerando i valori delle celle in cui sono localizzate le centraline; il punto con la lettera "B" indica invece il risultato dell'analisi di sensibilità, ovvero la performance del modello considerando la cella adiacente quella in cui è posizionata la centralina di Macerata Collevorio.

Dalla distanza del punto "A" da quello ottimale si evince, con una certa immediatezza, che il modello si discosta dalla situazione ideale per via di una bassa correlazione e di un errore di stima positivo. Il punto "A" e il punto "B" non presentano sostanziali differenze, sebbene quest'ultimo, più vicino al modello ottimale, mostri una performance lievemente migliore.

Figura 3. Diagramma di Taylor per il PM₁₀.



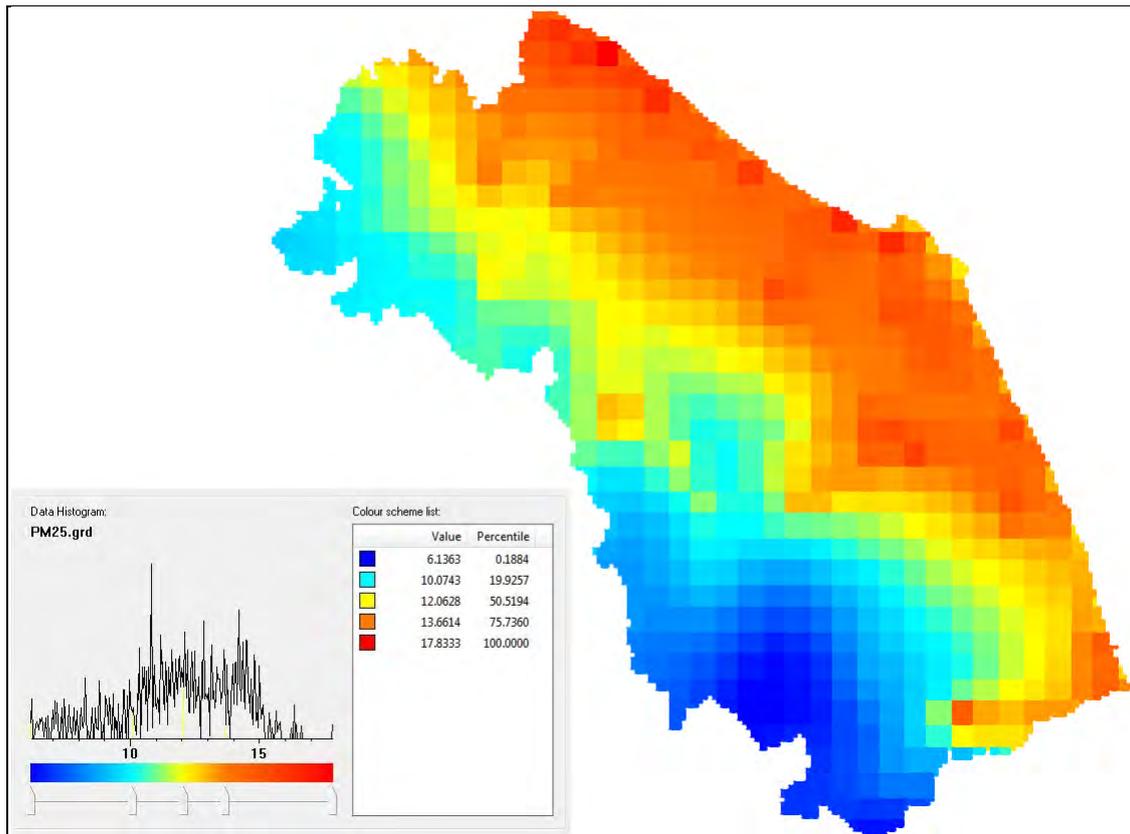
A: serie di dati originaria

B: analisi di sensibilità per Macerata Collevorio

3.3. PM_{2,5}

I valori delle concentrazioni del PM_{2,5} stimate dal modello con la relativa distribuzione in quintili nelle celle territoriali sono stati riportati sulla mappa in Figura 4; i colori corrispondono ai diversi quintili della distribuzione dove, in particolare, il rosso è riferito al 20% delle celle dove le concentrazioni di PM_{2,5} sono più alte e il blu identifica il 20% delle celle con le concentrazioni più basse.

Figura 4. Concentrazioni da modello del particolato PM_{2,5} (µg/m³).



Le sette centraline di fondo presentano mediamente un valore di concentrazione per il PM_{2,5} pari a 18,74 µg/m³ con una deviazione standard di 5,84 µg/m³, mentre il valore medio stimato da modello e rilevato delle corrispondenti celle presenta un valore di 14,22 µg/m³ con una deviazione standard di 1,95 µg/m³ (Tabella 6).

Tabella 6. PM_{2,5}: Valori medi delle centraline fisse e delle celle della modellistica in µg/m³.

	Centralina Fissa	Modello
N	7	7
Media	18,74	14,22
Dev.Std.	5,84	1,95

Per il PM_{2,5}, i valori degli indicatori quantitativi, con i corrispondenti valori ottimali, calcolati in accordo ai criteri fissati dal decreto legislativo 155/10 sono riportati in Tabella 7.

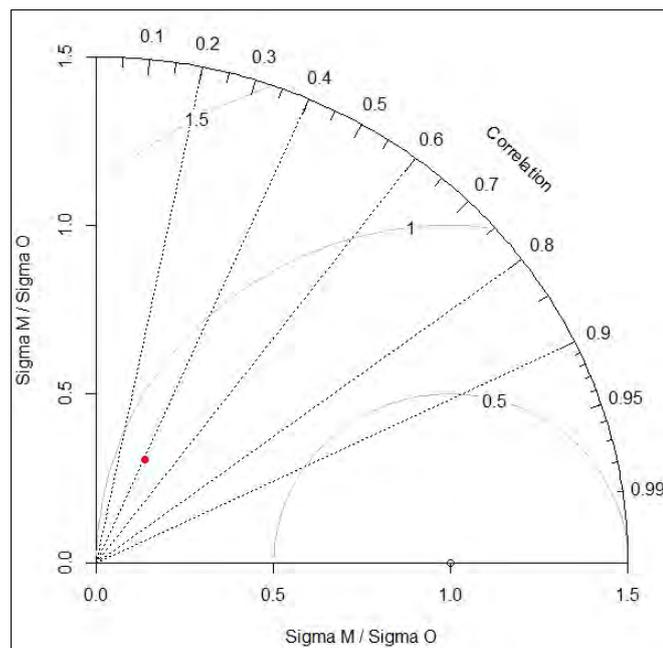
Dalle stime del bias, del fractional bias e del normalized mean bias factor risulta che il modello sottostima i valori rilevati dalle centraline (valori inferiori a zero) con un errore medio di stima, in termini di concentrazione, di $6,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gli indici di correlazione mostrano una bassa associazione tra le due serie di dati, sia di tipo lineare che non parametrica, essendo entrambi inferiori a 0,50 e lo Skill-Var, pari a 0,33, evidenzia che il modello non ha una buona capacità di riprodurre la variabilità delle osservazioni.

Tabella 7. $\text{PM}_{2,5}$: indicatori quantitativi di valutazione della capacità del modello.

	Unità di misura	Stima	Valore ottimale dell'indice
Bias	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-4,52	0
Fractional Bias	adimensionale	-0,27	0
Normalized Mean Bias Factor	adimensionale	-0,32	0
Root Mean Square Error	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	6,27	0
Correlazione di Spearman	adimensionale	0,07	1
Correlazione di Pearson	adimensionale	0,41	1
Skill Var	adimensionale	0,33	1

Nel diagramma di Taylor, riportato in Figura 5, la performance del modello che simula la diffusione in aria del $\text{PM}_{2,5}$ è rappresentata dal punto rosso, mentre la condizione di perfetta adattabilità dello stesso ai dati è identificata con un punto nero sull'asse delle ascisse. Dalla posizione dei due punti sul grafico si evince, con una certa immediatezza, che il modello si discosta dalla situazione ideale per via di una bassa correlazione, di una ridotta capacità del modello di cogliere la reale variabilità del processo osservato e di un errore di stima positivo.

Figura 5. Diagramma di Taylor per il $\text{PM}_{2,5}$.



4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stata valutata, a scopo esplorativo, la performance del modello MINNI di diffusione in aria del particolato sviluppato dall'ENEA, rispetto alle misurazioni effettuate nel 2007 dalle centraline di fondo distribuite spazialmente in otto comuni della regione Marche.

La risoluzione spaziale della modellistica è di 4 x 4 km e la valutazione è stata effettuata considerando le centraline di fondo localizzate all'interno della cella; tuttavia l'ipotesi che l'uso del suolo sia omogeneo in un'area di 4 x 4 km risulta poco plausibile e la rappresentatività spaziale delle centraline risulta limitata rispetto alla risoluzione spaziale definita nel modello diffusionale.

I valori medi annuali delle concentrazioni di PM₁₀ e di PM_{2,5} restituiti dalla modellistica e dalle centraline sono stati confrontati in accordo ai "Criteri per l'utilizzo dei metodi di valutazione diversi dalle misurazioni in siti fissi" stabiliti dal Decreto Legislativo n. 155/10.

Sulla base della modellistica, le concentrazioni di particolato presentano una tendenza alla sottostima con un errore medio di 10 µg/m³ per il PM₁₀ e di 4,52 µg/m³ per il PM_{2,5}; il modello, inoltre, cattura più adeguatamente la variabilità del processo osservato per il PM₁₀.

A livello italiano, le concentrazioni di O₃ sono ben simulate dal modello MINNI mentre PM₁₀ e NO₂ sono generalmente sottostimate in tutti i tipi di stazioni e in particolare per quelle urbane (1).

5. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la dott.ssa Luisella Ciancarella dell'ENEA di Bologna per aver messo a disposizione le griglie di ricaduta dei contaminanti atmosferici e per l'assistenza prestata nell'interpretazione dei dati forniti. I campi di concentrazione degli inquinanti atmosferici sono stati prodotti nel Progetto MINNI (Integrated National Model in support to the International Negotiation on Air Pollution) finanziato dal Ministero per l'Ambiente e per la Tutela del Territorio e del Mare e coordinato da ENEA.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Mircea M, Ciancarella L, Briganti G. Assessment of the AMS-MINNI system capabilities to simulate air quality over Italy for the calendar year 2005. Atmospheric Environment. 2014; 84: p. 178-188.
2. D. Lgs. n. 155 del 13/08/2010 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa". Appendice III: Criteri per l'utilizzo dei metodi di valutazione diversi dalle misurazioni in siti fissi. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 216 del 15/09/2010, Supplemento Ordinario n. 217
3. Taylor KE. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. J. Geophys. Res. Atmos. 2001; 106(7183-7192).