

## Aeroporto "Il Caravaggio" di Bergamo Orio al Serio **Piano di Sviluppo Aeroportuale 2030**



### **Studio di Impatto Ambientale**

*Allegato SIA.A04*

*Aria e fattori climalteranti: dati conoscitivi e  
specifiche dei modelli di simulazione*

Relazione

In copertina:

Aeroporto di Bergamo Orio al Serio, 21 Marzo 1972: passeggeri all'imbarco del Douglas DC-9 della compagnia aerea Itavia, primo volo decollato dal nuovo scalo e diretto a Roma – Ciampino (Fonte: Bergamopost.it)

## Indice

<b>1</b>	<b>Analisi Meteo Climatica</b>	<b>5</b>
1.1	<i>Dato Storico: andamento 1970 – 2001</i>	5
1.1.1	Fonte e centralina di riferimento	5
1.1.2	Regime Termico	8
1.1.3	Regime Pluviometrico	15
1.1.4	Regime Anemometrico	20
1.2	<i>Dato Attuale: Bollettino METAR anno 2015</i>	29
1.2.1	Descrizione formato e disponibilità dei dati	29
1.2.2	Regime Termico	30
1.2.3	Regime Anemometrico	30
1.2.4	Pressione	32
<b>2</b>	<b>Campagne di misura con mezzi mobili effettuate da ARPA Lombardia</b>	<b>32</b>
2.1	<i>Numero e localizzazione delle campagne</i>	32
2.2	<i>L'analisi dei dati</i>	36
2.3	<i>Conclusioni delle risultanze delle campagne di misura</i>	58
<b>3</b>	<b>Caratteristiche ed effetti degli inquinanti di interesse</b>	<b>61</b>
3.1	<i>Concentrazioni Ossidi di Azoto (NOx ed NO2)</i>	61
3.1.1	Le caratteristiche	61
3.1.2	Effetti sull'uomo	62
3.1.3	Effetti sull'ambiente	62
3.2	<i>Concentrazioni Polveri (PM10 e PM2.5)</i>	62
3.2.1	Le caratteristiche	62
3.2.2	Effetti sull'uomo	63
3.2.3	Effetti sull'ambiente	64
3.3	<i>Monossido di Carbonio (CO)</i>	64
3.3.1	Le caratteristiche	64
3.3.2	Effetti sull'uomo	65
3.3.3	Effetti sull'ambiente:	66
<b>4</b>	<b>Modelli di simulazione</b>	<b>66</b>
4.1	<i>Il modello di simulazione emissivo e diffusionale: EDMS</i>	66
4.1.1	Aspetti generali	66
4.1.2	Inventario delle principali sorgenti inquinanti	71
4.1.3	Calcolo delle emissioni prodotte dagli aeromobili	73
4.1.4	Calcolo delle emissioni prodotte dagli APU	74
4.1.5	Calcolo delle emissioni prodotte dai GSE	75
4.1.6	Calcolo delle emissioni prodotte dagli autoveicoli	75
4.1.7	Calcolo delle emissioni prodotte da altre sorgenti stazionarie	76

4.2	<i>Il modello di simulazione COPERT 5</i> .....	77
4.3	<i>Il modello di simulazione AERMOD View</i> .....	78

## 1 ANALISI METEO CLIMATICA

### 1.1 Dato Storico: andamento 1970 – 2001

#### 1.1.1 Fonte e centralina di riferimento

Al fine di analizzare il dato storico meteorologico dell'area in esame è stato indispensabile l'utilizzo dell'Atlante Climatico fornito dall'Aeronautica Militare. Tale documento raccoglie i dati meteorologici nell'arco temporale di un trentennio, dal 1971 al 2000, permettendo così di ricostruire in termini medi l'andamento meteo-climatico nell'area dell'Aeroporto di Bergamo Orio al Serio.

L'Atlante, fornito dall'Aeronautica Militare, è sviluppato secondo quanto definito dall'OMM (Organizzazione Meteorologica Mondiale), che definisce il clima operativamente come lo stato medio delle variabili fisiche atmosferiche riferito a uno specifico periodo di tempo per un'area geografica circoscritta, prescrivendo la raccolta dei dati ai fini climatici per periodi tra loro disgiunti di 30 anni.

Gli indicatori analizzati, i cui valori sono riportati nel paragrafo successivo, sono distinguibili in tre categorie: Temperature, Precipitazioni e Venti.

Con specifico riferimento alla temperatura, gli indicatori analizzati nel sopraccitato Atlante sono riportati in Tabella 1-1.

Simbolo	Descrizione	U.M.
Tm	Temperatura media (max + min)/2	°C
Tx 1d	Temperatura massima media della 1ª decade	°C
Tx 2d	Temperatura massima media della 2ª decade	°C
Tx 3d	Temperatura massima media della 3ª decade	°C
Txm	Temperatura massima media mensile	°C
Tn 1d	Temperatura minima media della 1ª decade	°C
Tn 2d	Temperatura minima media della 2ª decade	°C
Tn 3d	Temperatura minima media della 3ª decade	°C
Tnm	Temperatura minima media mensile	°C
TxP85-15	Differenza fra 85° e 15° percentile della distribuzione delle temperature massime	°C
TnP85-15	Differenza fra 85° e 15° percentile della distribuzione delle temperature minime	°C
P99x (P99n)	99° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
P85x (P85n)	85° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
P15x (P15n)	15° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C

Simbolo	Descrizione	U.M.
P1x (P1n)	1° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
NgTn<=0	N° giorni con <b>Tn</b> (temperatura minima) <= 0 °C	(conteggio)
NgTn<=-5	N° giorni con <b>Tn</b> (temperatura minima) <= -5 °C	(conteggio)
NgTx>=25	N° giorni con <b>Tx</b> (temperatura massima) >= 25 °C	(conteggio)
NgTx>=30	N° giorni con <b>Tx</b> (temperatura massima) >= 30 °C	(conteggio)
GrGi>0	Gradi-giorno (Somme (Tm-S) solo se (Tm-S) > 0°), dove S = 0°C	°C
GrGi>5	Gradi-giorno (Somme (Tm-S) solo se (Tm-S) > 0°), dove S = 5°C	°C
GrGi_18	Gradi-giorno (Somme (S-Tm) solo se (S-Tm) > 0°), dove S = 18°C	°C
Txx	Temperatura massima assoluta	°C
An Txx	Anno in cui si è verificata <b>Txx</b>	
Tnn	Temperatura minima assoluta	°C
An Tnn	Anno in cui si è verificata <b>Tnn</b>	

Tabella 1-1 Indicatori della Temperatura (fonte: *Atlante Climatico dell'Aeronautica Militare* - <http://www.meteoam.it>)

Con riferimento alle precipitazioni ed eventi correlabili, i principali indicatori sono riportati in Tabella 1-2.

Simbolo	Descrizione	U. M.
RTot	Precipitazione totale media mensile	mm
RQ0	Minimo della distribuzione in quintili delle precipitazioni	mm
RQ1	Primo quintile della distribuzione delle precipitazioni	mm
RQ2	Secondo quintile della distribuzione delle precipitazioni	mm
RQ3	Terzo quintile della distribuzione delle precipitazioni	mm
RQ4	Quarto quintile della distribuzione delle precipitazioni	mm
RQ5	Massimo della distribuzione in quintili delle precipitazioni	mm
Rx12a	Precipitazione massima fra le ore 00 e le 12 (ora UTC)	mm
Rx12b	Precipitazione massima fra le ore 12 e le 24 (ora UTC)	mm
Rx24	Precipitazione massima in 24 ore	mm
An Rx24	Anno in cui si è verificata <b>Rx24</b>	
Ng R>1	Numero medio di giorni al mese con precipitazioni > 1 mm	(conteggio)
Ng R>5	Numero medio di giorni al mese con precipitazioni > 5 mm	(conteggio)
Ng R>10	Numero medio di giorni al mese con precipitazioni > 10 mm	(conteggio)
Ng R>50	Numero medio di giorni al mese con precipitazioni > 50 mm	(conteggio)
Ng Fog	Numero medio di giorni al mese con nebbia	(conteggio)
Ux%	Media mensile dell'umidità percentuale massima	%
Un%	Media mensile dell'umidità percentuale minima	%
Ng h6	Numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa <= 4/8 alle ore 6	(conteggio)

Simbolo	Descrizione	U. M.
Nuv<=4		
Ng h6 Nuv>4	Numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa > 4/8 alle ore 6	(conteggio)
Ngh18 Nuv<=4	Numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa <= 4/8 alle ore 18	(conteggio)
Ngh18 Nuv>4	Numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa > 4/8 alle ore 18	(conteggio)

Tabella 1-2 Indicatori delle precipitazioni (fonte: *Atlante Climatico dell'Aeronautica Militare* - <http://www.meteoam.it>)

In relazione alla distribuzione dei venti è possibile fare riferimento alla Tabella 1-3.

Simbolo	Descrizione	U. M.
HH	Orario	UTC
MM	Mese	
Calme	Percentuali dei casi di vento con intensità = 0 nodi	%
N1-10	Percentuali dei casi di vento da Nord con intensità tra 1 e 10 nodi	%
N11-20	Percentuali dei casi di vento da Nord con intensità tra 11 e 20 nodi	%
N>20	Percentuali dei casi di vento da Nord con intensità superiore a 20 nodi	%
NE1-10	Percentuali dei casi di vento da Nord-Est con intensità tra 1 e 10 nodi	%
NE11-20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Est con intensità tra 11 e 20 nodi	%
NE>20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Est con intensità superiore a 20 nodi	%
E1-10	Percentuali dei casi di vento da Est con intensità tra 1 e 10 nodi	%
E11-20	Percentuali dei casi di vento da Est con intensità tra 11 e 20 nodi	%
E>20	Percentuali dei casi di vento da Est con intensità superiore a 20 nodi	%
SE1-10	Percentuali dei casi di vento da Sud-Est con intensità tra 1 e 10 nodi	%
SE11-20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Est con intensità tra 11 e 20 nodi	%
SE>20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Est con intensità superiore a 20 nodi	%
S1-10	Percentuali dei casi di vento da Sud con intensità tra 1 e 10 nodi	%
S11-20	Percentuali dei casi di vento da Sud con intensità tra 11 e 20 nodi	%
S>20	Percentuali dei casi di vento da Sud con intensità superiore a 20 nodi	%
SW1-10	Percentuali dei casi di vento da Sud-Ovest con intensità tra 1 e 10 nodi	%
SW11-20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Ovest con intensità tra 11 e 20 nodi	%
SW>20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Ovest con intensità superiore a 20 nodi	%
W1-10	Percentuali dei casi di vento da Ovest con intensità tra 1 e 10 nodi	%
W11-20	Percentuali dei casi di vento da Ovest con intensità tra 11 e 20 nodi	%
W>20	Percentuali dei casi di vento da Ovest con intensità superiore a 20 nodi	%
NW1-10	Percentuali dei casi di vento da Nord-Ovest con intensità tra 1 e 10 nodi	%
NW11-20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Ovest con intensità tra 11 e 20 nodi	%
NW>20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Ovest con intensità superiore a 20 nodi	%

Simbolo	Descrizione	U. M.
Vxx	Intensità massima del vento	KT

Tabella 1-3 Indicatori della distribuzione dei venti (fonte: *Atlante Climatico dell'Aeronautica Militare* - <http://www.meteoam.it>)

Al fine di condurre un'analisi meteorologica relativa all'area di studio, è possibile scegliere la stazione meteorologica di rilevamento da poter analizzare tra quelle disponibili. Nel caso in esame, è stata scelta quella che rappresentasse al meglio l'area, quindi quella più prossima all'aeroporto, costituita dalla centralina di Bergamo Orio al Serio, le cui coordinate geografiche sono Lat: 45.668331 Long: 9.700555 (cfr. Figura 1-1).

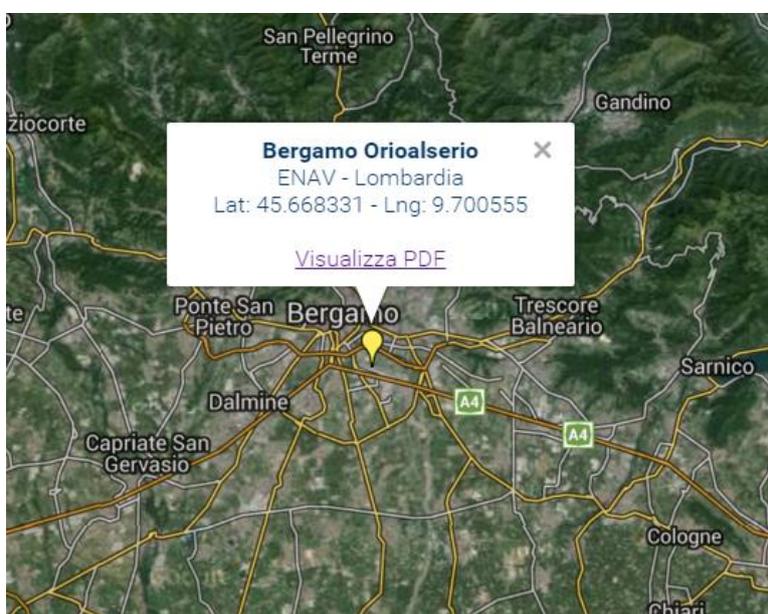


Figura 1-1 Centralina di riferimento per analisi storiche (fonte: *Atlante Climatico dell'Aeronautica Militare* - <http://www.meteoam.it>)

### 1.1.2 Regime Termico

Il primo aspetto analizzato nella trattazione del dato storico riguarda il regime termico. La Tabella 1-4 riporta i dati principali circa le temperature nei tre decenni di analisi.

Mese	Tm (°C)	Tx 1d (°C)	Tx 2d (°C)	Tx 3d (°C)	Txm (°C)	Tn 1d (°C)	Tn 2d (°C)	Tn 3d (°C)	Tnm (°C)	Tx P85-15 (°C)	Tn P85-15 (°C)
Gen	2,7	6	6,4	7,3	6,6	-2	-1	-0,5	-1,1	8,1	6,9
Feb	4,4	8	8,3	9,7	8,6	-0,4	0,1	0,7	0,1	8,1	6,2
Mar	8,2	11,3	13,3	14,4	13	2	3,4	4,5	3,3	8,2	6,6
Apr	11,4	15,6	16,2	17,3	16,4	6,1	5,5	7,4	6,3	7,7	6,4
Mag	16,2	19,8	21,2	22,9	21,4	9,5	11,2	12,1	11	8,5	6

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche  
dei modelli di simulazione

Giu	19,9	24,6	25,2	26,3	25,3	13,8	14,1	15,5	14,5	7,4	6,2
Lug	22,8	27,8	28,2	28,8	28,3	16,6	17,5	17,7	17,3	5,9	5,7
Ago	22,6	28,8	28,3	26,3	27,8	17,9	17,8	16,4	17,3	6,9	5,7
Set	18,6	24,6	23,6	22,1	23,4	14,4	13,9	12,9	13,8	6,7	6,2
Ott	13,3	19,6	17,6	15,6	17,6	11	9,3	7	9	7,6	7,5
Nov	7,3	13,2	10,9	9,1	11,1	5,7	3,2	1,3	3,4	7,3	7,3
Dic	3,4	7,8	7,5	6,4	7,2	0,2	-0,1	-1	-0,3	7	7
Mese	NgTn ≤0	NgTn ≤-5	NgTx ≥25	NgTx ≥30	GrGi >0 (°C)	GrGi >5 (°C)	GrGi_18 (°C)	Txx (°C)	An Tx	TNN (°C)	An Tn (°C)
Gen	19,8	4,5	0	0	100	0	495	20,3	1974	-15	1985
Feb	14,3	1,7	0	0	129	0	394	22,7	1990	-11,8	1991
Mar	4,9	0,3	0	0	259	104	310	25,3	1997	-7,6	1971
Apr	0,9	0	0,1	0	337	189	196	25,2	1975	-3,6	1973
Mag	0	0	6,1	0	491	339	72	30,4	1986	1,7	1976
Giu	0	0	17,5	2,8	584	437	15	34,2	1996	5	1986
Lug	0	0	27,2	9,8	701	547	1	39	1983	10,5	1975
Ago	0	0	25,2	8,8	710	553	2	38,8	1979	8,7	1995
Set	0	0	11,4	0	572	418	26	30,9	1987	5,1	1972
Ott	0,2	0	0,6	0	417	260	150	29	1997	-1,7	1997
Nov	5	0,2	0	0	207	65	306	19,3	1984	-6	1989
Dic	15,5	2,9	0	0	107	0	425	17,7	1979	-9,2	1973

Tabella 1-4 Regime Termico (fonte: *Atlante climatico – dati stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Con riferimento alla Temperatura Media registrata nei tre decenni è possibile notare come le temperature siano comprese tra 2,7 °C e 22,8 °C rispettivamente registrati nei mesi di Gennaio e di Luglio (cfr Figura 1-2).

### Temperatura Media

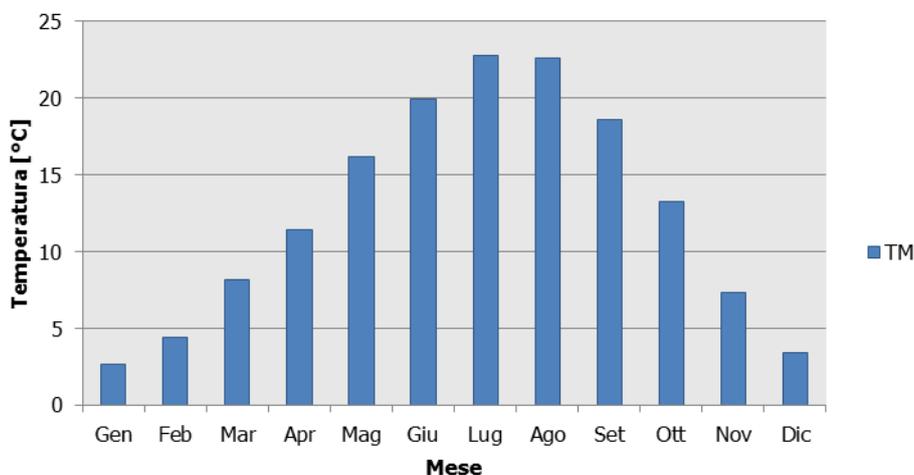


Figura 1-2 Temperatura media nelle tre decadi di riferimento (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Analizzando i valori massimi e minimi medi della temperatura nelle tre decadi si osserva come il trend analizzato per la temperatura media sia individuabile anche in tali valori, evidenziando come mese con temperature massime medie più elevate il mese di Luglio con 28,3°C mentre il mese con le temperature minime medie più basse risulta Gennaio con -1,1 °C (cfr. Figura 1-3).

### Temperatura Massima e Minima Media

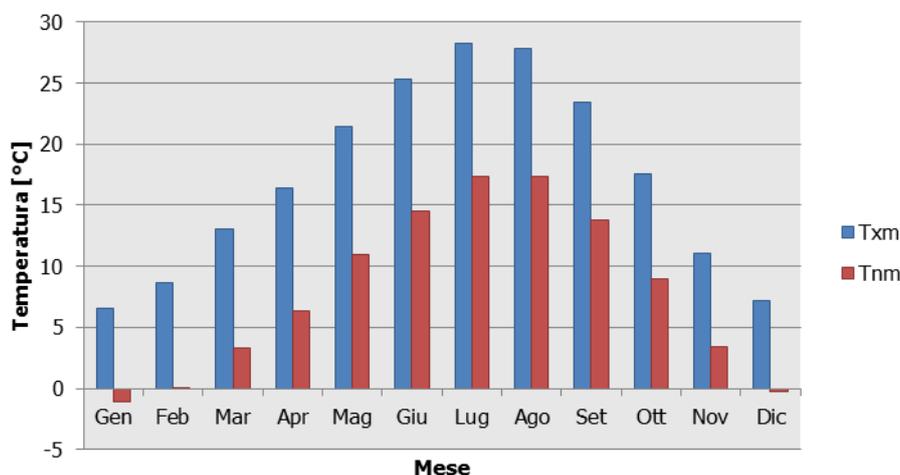


Figura 1-3 Temperatura massima e minima media nelle tre decadi di riferimento (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Al fine di poter valutare possibili trend di evoluzione della temperatura è possibile fare riferimento ai valori di temperatura minima e massima media mensile analizzata nelle tre differenti decadi di riferimento (1971 – 1980; 1981 – 1990; 1991 – 2000).

Si può notare come nel corso dei decenni è stata registrata una traslazione verso sinistra delle tre curve. La linea verde, infatti, rappresentativa della 3° decade, fa registrare valori più elevati delle altre due nei mesi compresi tra Marzo e Luglio.

Nei mesi da Agosto a Dicembre si registra un trend opposto con il valore della temperatura massima sempre inferiore a quello delle altre due decadi. Nell'ultima decade di analisi il mese con la temperatura massima media più elevata risulta Luglio con un valore di 31°C (cfr. Figura 1-4).

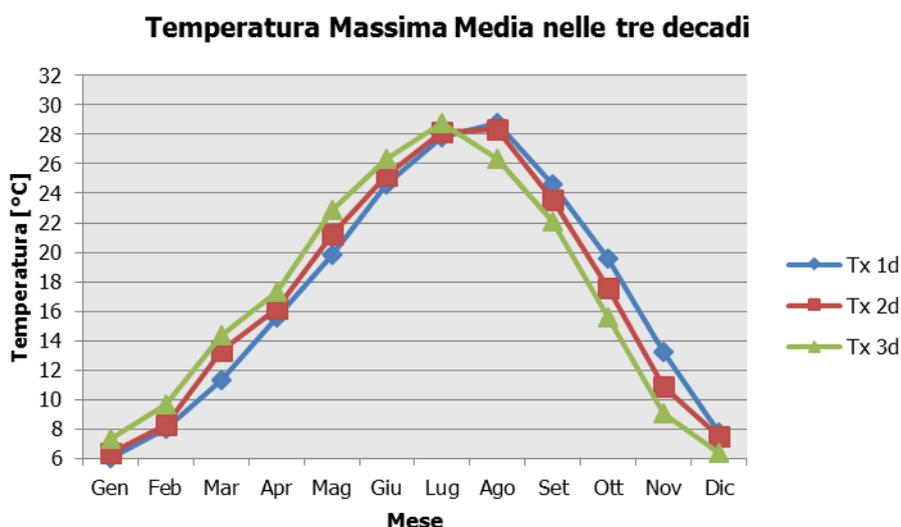


Figura 1-4 Temperatura massima media suddivisa per decadi (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Analoghe considerazioni possono essere effettuate in riferimento alle temperature minime così come mostra la Figura 1-5.

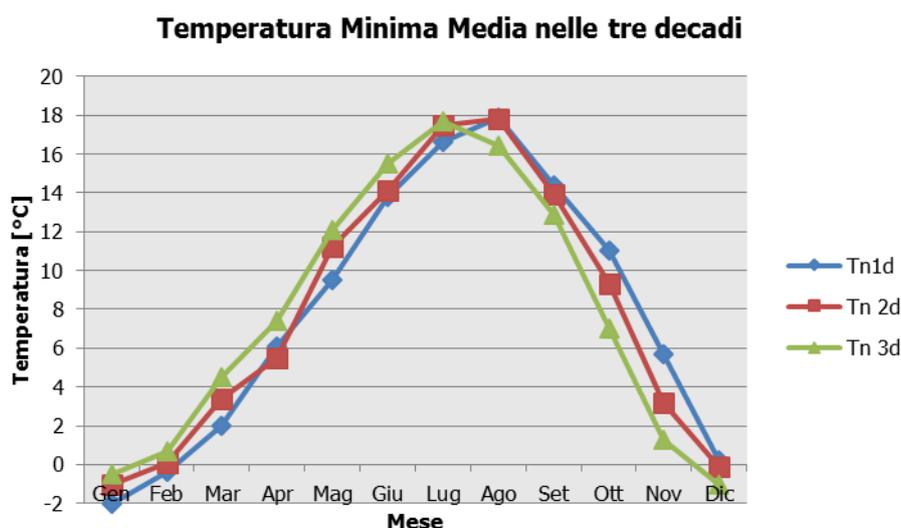


Figura 1-5 Temperatura minima media suddivisa per decadi (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

E' inoltre possibile analizzare il fenomeno termico anche dal punto di vista dei percentili. In particolare si può osservare la distribuzione in termini di differenze tra l'85° ed il 15° percentile, al fine di determinare un intervallo di variazione dei valori contenuti tra tali percentili. Tale differenza può essere effettuata sia in termini di temperatura massima sia in termini di temperatura minima. Dall'analisi delle temperature massime si può notare come il delta sia quasi costante e compreso tra i 5,9°C ed i 8,5°C (cfr. Figura 1-6).

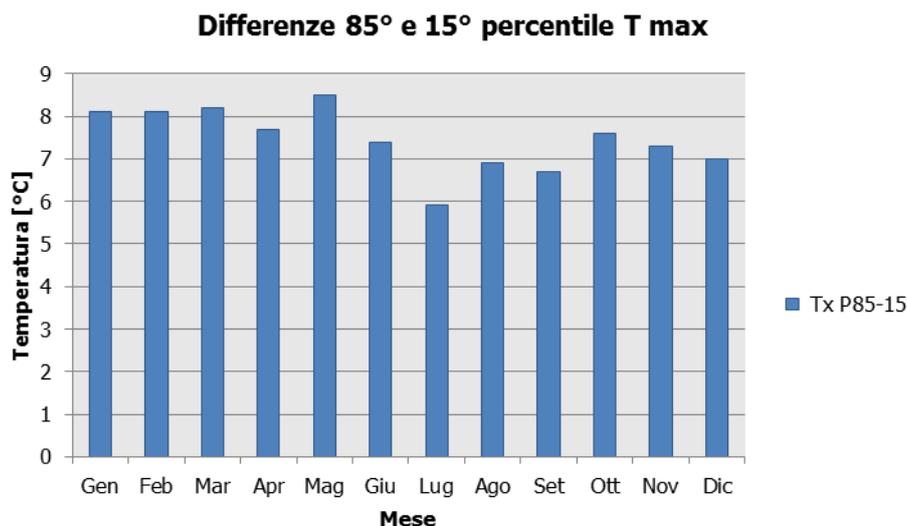


Figura 1-6 Differenza 85 – 15 percentile temperatura massima (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Con riferimento alla temperatura minima invece, si può evidenziare un trend in cui il minimo del delta è rappresentato dai mesi estivi, il cui valore è di 5,7°C, mentre il massimo è registrato in corrispondenza dei mesi autunnali e invernali, con il delta massimo rilevato nel mese di Dicembre, dove le differenze tra l'85° ed il 15° percentile raggiungono valori di 7,5 °C (cfr. Figura 1-7).

### Differenze 85° e 15° percentile T min

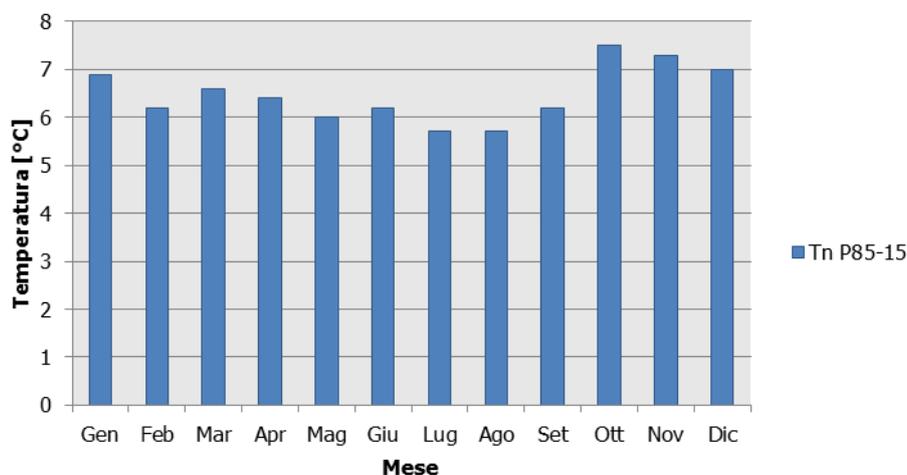


Figura 1-7 Differenza 85 – 15 percentile temperatura minima (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

È stato inoltre possibile effettuare un'analisi sull'occorrenza di determinati eventi, oltre che sulla loro entità, al fine di completare lo studio meteorologico.

In particolare è possibile valutare l'occorrenza di fenomeni "estremi", quali il superamento di temperature "soglia" sia in termini di temperatura minima, sia in termini di temperatura massima.

Si può notare come i giorni con temperature inferiori ai -5°C siano concentrati nei mesi da Dicembre a Febbraio, mentre come le giornate con temperature inferiori ai 0°C siano ricomprese in tutto il periodo invernale (cfr. Figura 1-8).

### N° giorni con temperature min inferiori a 0° e -5°

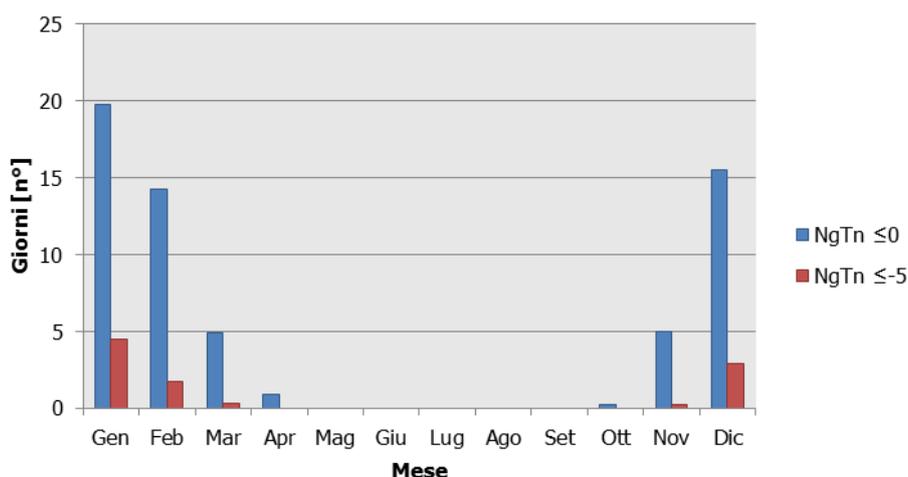


Figura 1-8 n° giorni con temperature min inferiori a 0° e a -5° (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Per quanto riguarda le temperature massime si registrano superamenti della soglia di 30°C nei mesi di Giugno, Luglio, Agosto. I superamenti della soglia di 25°C sono molto frequenti nei mesi in tutto il periodo estivo (cfr. Figura 1-9).

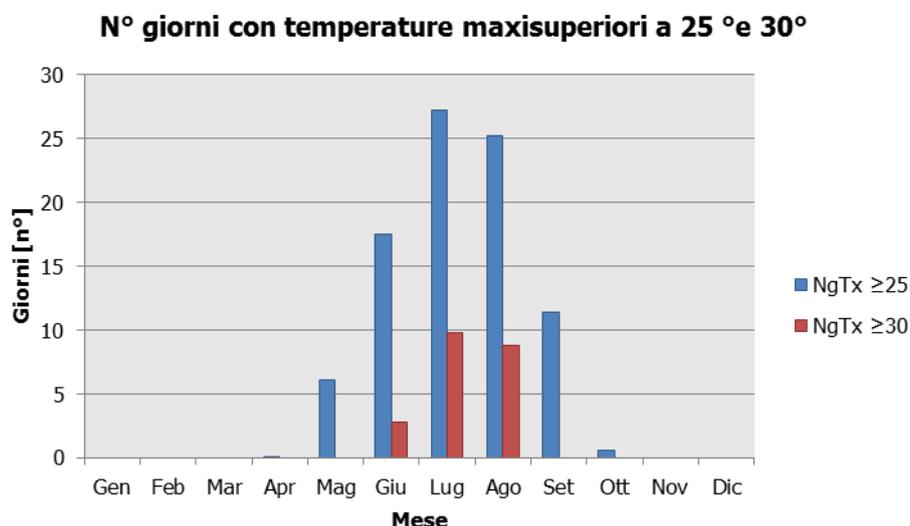


Figura 1-9 n° giorni con temperature massime superiori a 25° e 30° (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Ultimo aspetto riguarda l'analisi dei giorni in cui si sono verificati i massimi ed i minimi assoluti rispetto al periodo di riferimento dell'Atlante Climatico. E' possibile notare come rispetto alle temperature massime e minime la distribuzione è dispersa in tutte e tre le decadi di analisi al variare dei diversi mesi presi a riferimento (cfr. Figura 1-10 e Figura 1-11).

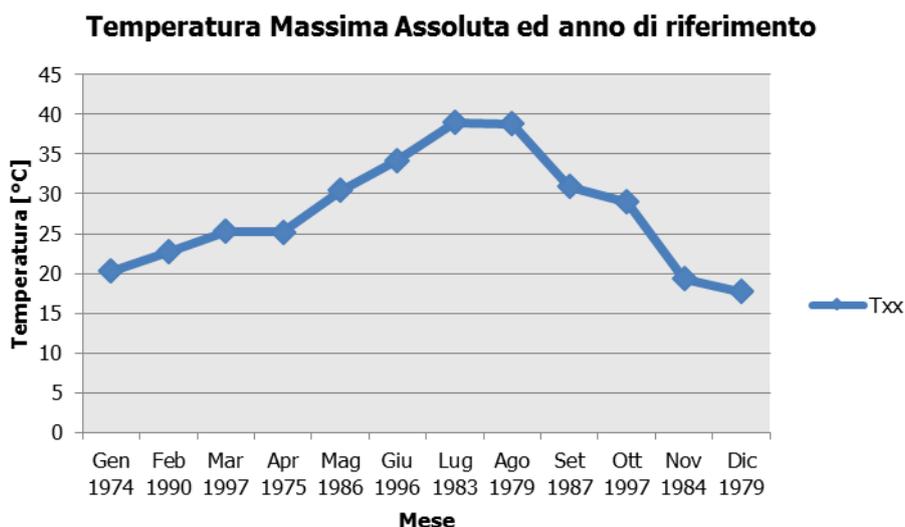


Figura 1-10 Temperatura massima assoluta ed anno di riferimento (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

### Temperatura Minima Assoluta ed anno di riferimento

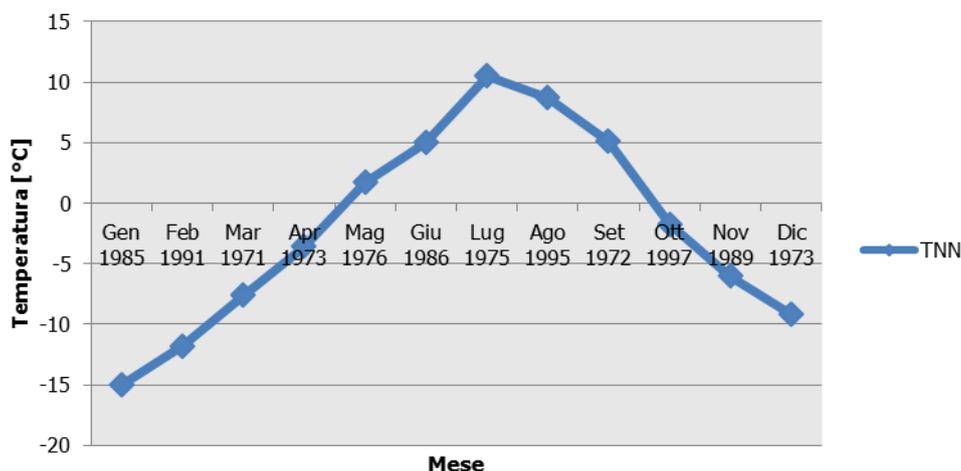


Figura 1-11 Temperatura minima assoluta ed anno di riferimento (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

### 1.1.3 Regime Pluviometrico

Il regime pluviometrico è definito attraverso i dati registrati e riportati nella Tabella 1-5. In tale tabella sono anche riportati i dati circa l'umidità registrata, nonché la presenza di nebbia e di copertura nuvolosa.

Me se	Rtot (mm)	RQ0 (mm)	RQ1 (mm)	RQ2 (mm)	RQ3 (mm)	RQ4 (mm)	RQ5 (mm)	Rx12a (mm)	Rx12b (mm)	Rx24 (mm)	An Rx24
Gen	66,1	0,5	10,9	45,5	57,4	110,7	206,2	31	26,8	45,4	1978
Feb	54	0	11,3	21,9	43,5	85,4	197,3	39	29,8	48,4	1977
Mar	71,5	0,2	16	49,8	82,7	109,3	187,6	34	35,4	54,6	1971
Apr	87,4	7	44,1	70	80,8	114,9	270,8	53,4	54,8	63,8	1990
Mag	122,5	17,6	57,9	89	136,9	164,3	271,5	47,2	80	85,8	1987
Giu	121,2	35,5	73,5	82,4	132	160,6	356,9	56,6	82,8	84,8	1997
Lug	91,9	0	23,8	51	75,2	156,3	246,5	81,8	52,6	98,6	1991
Ago	100,3	0	28,8	67	102,3	154,1	260,4	61,6	59,8	93	1979
Set	114,3	4,8	30,5	52,5	94,4	181,7	405	119,4	68,2	155,2	1993
Ott	121,5	8,8	32,7	80,8	133,7	211,7	285,4	55	57,2	88,8	1988
Nov	87,5	1,5	28	46,4	71,9	142,1	332	47,6	42	61,8	1971
Dic	64,4	0,5	22,2	58,9	65,8	97,2	188,4	30,8	34,6	56,8	1992
Me se	Ng R>1	Ng R>5	Ng R>10	Ng R>50	Ng Fog	Ux (%)	Un (%)	Ng h6 Nuv<=4	Ng h6 Nuv>4	Ngh1 8 Nuv<=4	Ngh1 8 Nuv>4
Gen	7,1	4	2,7	0	13,6	92	58	15,3	16	14,4	16,7

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

Feb	5,3	2,6	2	0	7	90	52	14,8	13,5	15,4	12,9
Mar	7	4,3	3	0	2,2	88	45	15,3	15,8	16,4	14,4
Apr	9,3	5,4	2,9	0,1	0,8	90	47	13,3	17,3	13	17,6
Mag	11,1	6,7	4	0,3	0,5	90	46	14,4	17,4	13,3	18,5
Giu	9,1	5,9	4,1	0,2	0,1	91	44	15,3	14,5	15,2	14,8
Lug	6,3	4,1	3	0,3	0	90	45	18,6	12,4	19,4	11,6
Ago	7,2	4,6	3,3	0,3	0,4	90	46	17	13,5	19,1	11,6
Set	6,5	4,5	3,3	0,5	0,3	91	49	15,5	14,6	17,3	12,8
Ott	8,3	5,6	4	0,4	3,3	92	58	15,7	15,5	17	14,1
Nov	7,1	4,4	3	0	9,3	93	61	14,3	14,5	14,1	14,9
Dic	6,6	4,1	2,3	0	11,3	93	63	16	14,7	14,6	16

Tabella 1-5 Regime Pluviometrico (fonte: *Atlante Climatico – dati stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Il primo aspetto di analisi fa riferimento alla precipitazione totale media mensile registrata dalla stazione di riferimento in termini di mm, così come riportato in Figura 1-12. Da tale figura si può notare come i mesi con la media mensile più elevata siano Maggio, Giugno, Settembre e Ottobre, con valori compresi tra i 100 mm e i 122,5 mm di precipitazione, mentre il mese maggiormente asciutto è Febbraio con un valore di circa 54 mm.

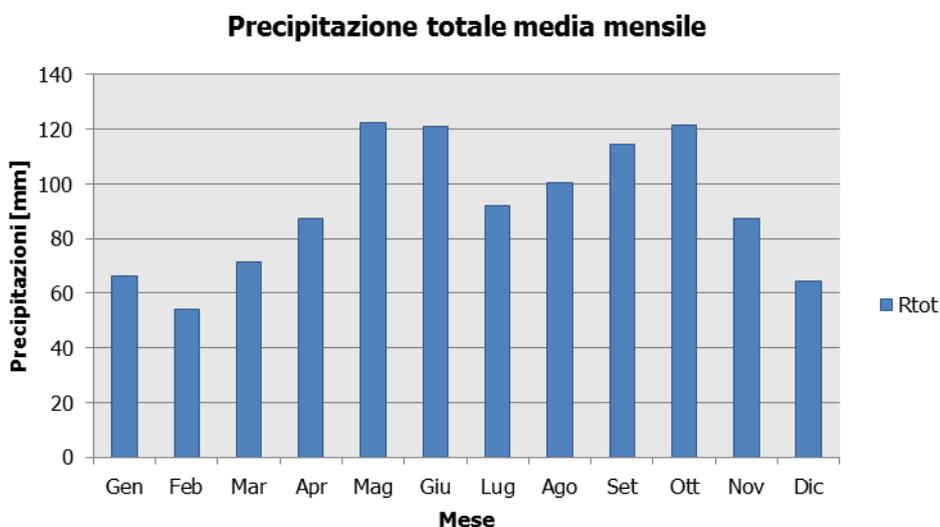


Figura 1-12 Precipitazione totale media mensile (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Al fine di avere una valutazione quantitativa della distribuzione delle precipitazioni nei diversi mesi è possibile fare riferimento alla Figura 1-13, dalla quale si nota come il quinto quintile sia marcatamente superiore al quarto, mentre si ottengono differenze più contenute tra gli altri quintili.

### Distribuzione in quintili delle precipitazioni

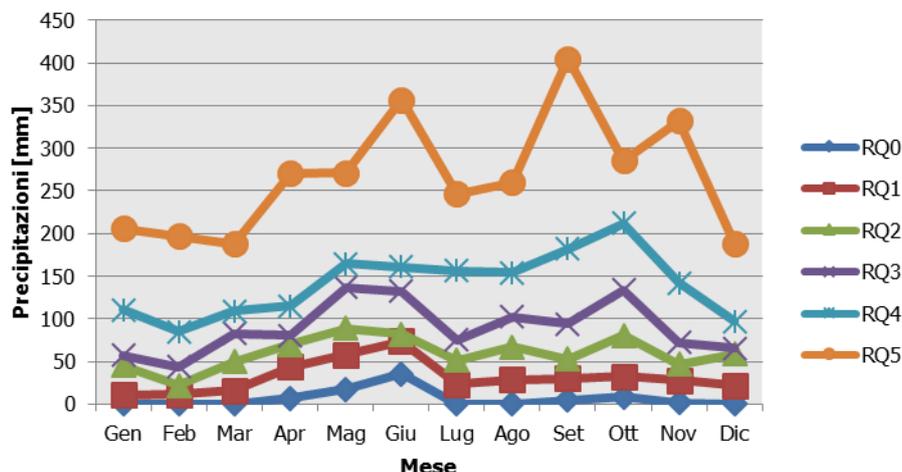


Figura 1-13 Distribuzione in quintili delle precipitazioni mensili (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

E' inoltre possibile valutare la divisione delle precipitazioni massime con riferimento a due intervalli temporali 00-12 e 12-24, così come definito nella Figura 1-14.

Si può notare come, rispetto al primo intervallo temporale, il massimo si registri nel mese di Settembre con circa 120 mm di precipitazione, mentre rispetto al secondo sia registrabile nel mese di Giugno con circa 80 mm.

### Precipitazioni massime

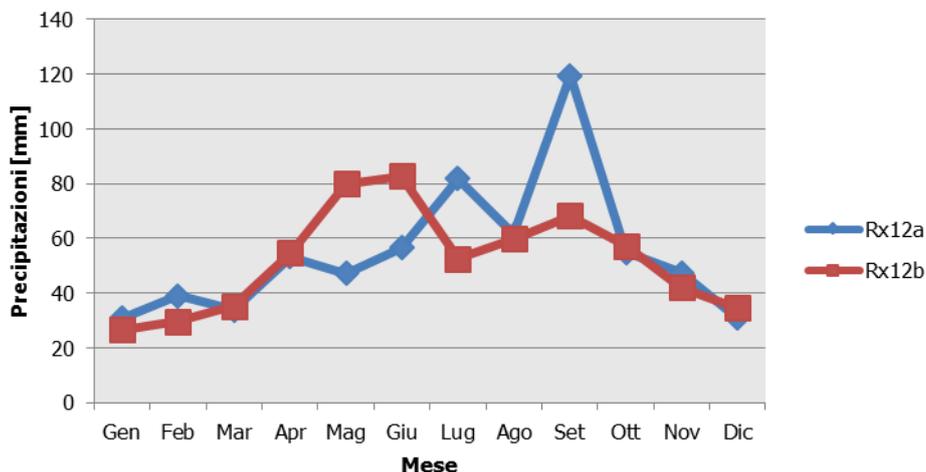


Figura 1-14 Precipitazioni massime periodi 00-12 e 12-24 (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Di seguito, in Figura 1-15, si riporta la distribuzione dei massimi nelle 24 ore, nonché la data in cui si è verificata rispetto al periodo di analisi dell'Atlante Climatico.

### Precipitazione massima 24 h ed anno di riferimento

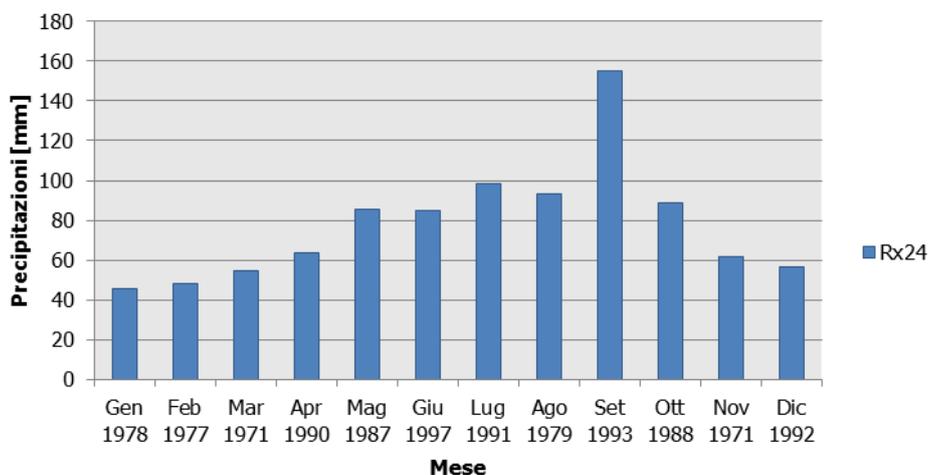


Figura 1-15 Precipitazioni massima nelle 24h ed anno di occorrenza (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

In ultimo, in analogia a quanto visto per le temperature, anche per il regime pluviometrico viene effettuata un'analisi circa il numero di giorni in cui si verifica il superamento di determinati valori di soglia. Nel caso in esame, riportato in Figura 1-16, vengono riportati il numero medio di giorni con precipitazioni superiori ad 1.5, 10 e 50 mm.

Dall'analisi di tali dati è possibile evidenziare come il mese di Maggio sia quello in cui mediamente ci sono più giorni con superamento dei valori di 1mm, 5mm e 10mm, ma come per quanto riguarda la soglia più elevata (50 mm) si debba fare riferimento al mese di Settembre.

### N° giorni con precipitazioni superiori a valore soglia

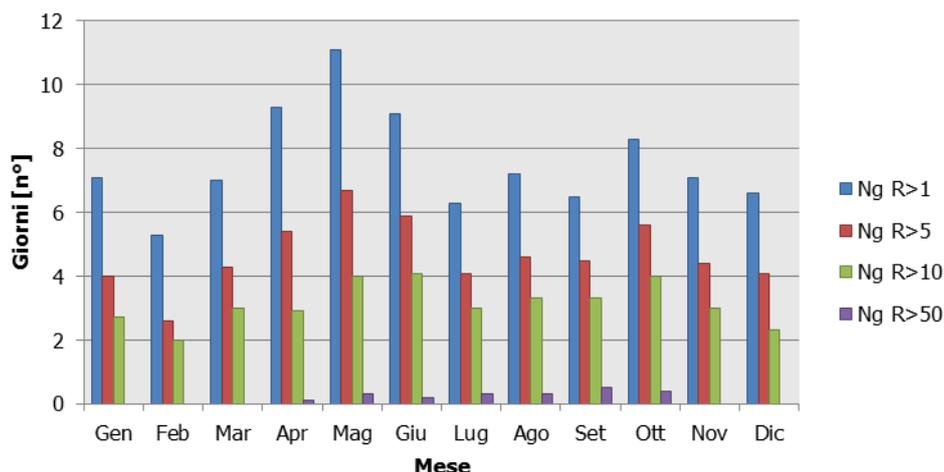


Figura 1-16 N° di giorni medio al mese con precipitazioni superiori a 1.5, 10 e 50 mm di precipitazioni (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Con riferimento al secondo parametro analizzato, ovvero la presenza di nebbia, è possibile fare riferimento alla Figura 1-17, in cui vengono rappresentati i giorni medi al mese con presenza di

nebbia. La distribuzione di tali valori varia da un numero massimo di circa 14 giorni per il mese di Gennaio sino ad azzerarsi nel mese di Luglio.

### N° giorni con nebbia

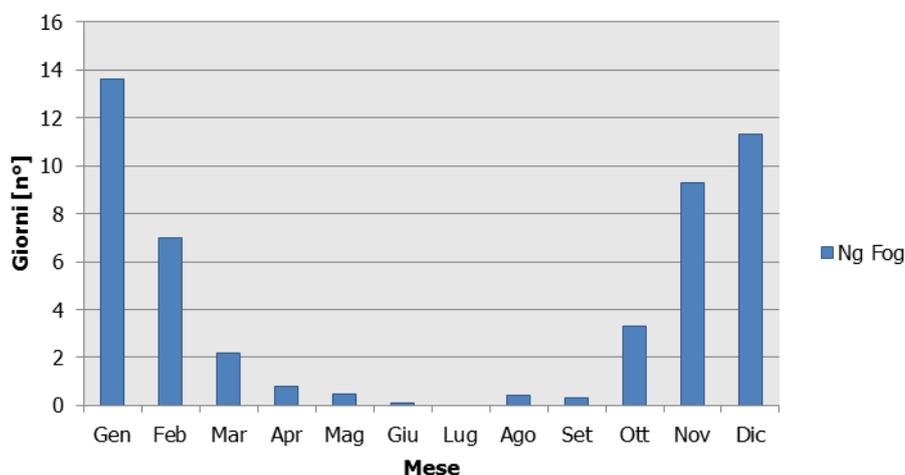


Figura 1-17 Numero di giorni medio al mese con presenza di nebbia (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Rispetto all'umidità percentuale massima e minima, si nota come il primo parametro sia compreso tra l'88% ed il 93%, con oscillazioni contenute, i cui massimi si registrano nei mesi da Novembre a Gennaio. Con riferimento al secondo parametro, il delta si amplia con valori minimi nel mese di Giugno pari al 44% sino a valori più elevati, pari al 63% nel mese di Dicembre (cfr. Figura 1-18).

### % medie umidità max e min

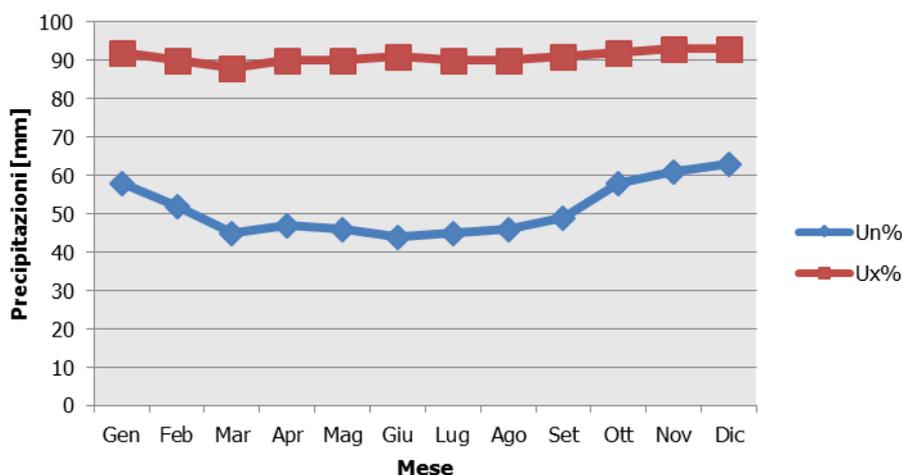


Figura 1-18 Media mensile dell'umidità percentuale massima e minima (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Ultimo aspetto del presente paragrafo riguarda l'analisi della copertura nuvolosa, In particolare tale aspetto viene considerato con riferimento al numero di giorni in relazione ad alcuni aspetti che possono essere così riassunti:

- la copertura nuvolosa espressa in ottavi, ed in particolare se inferiore o superiore ai quattro ottavi;
- le ore del giorno, definendo due scenari di analisi alle ore 6 e alle ore 18.

La combinazione di tali aspetti dà luogo a quattro scenari di analisi:

- 1) numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa inferiore o uguale a 4/8 alle ore 6;
- 2) numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa superiore a 4/8 alle ore 6;
- 3) numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa inferiore o uguale a 4/8 alle ore 18;
- 4) numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa superiore a 4/8 alle ore 18.

Le risultanze di tali analisi sono riportate nella Figura 1-19, dalla quale si può notare come nei mesi invernali si registri una situazione uniforme nei quattro scenari con valori pressoché stabili sia con riferimento alle ore 6 che con riferimento alle ore 18. Rispetto ai mesi estivi invece si riducono i fenomeni con nuvolosità maggiore dei 4/8 sia nella mattina che nella sera ed aumentano quelli con nuvolosità inferiore ai 4/8, anch'essi sia con riferimento alla mattina che al periodo serale.

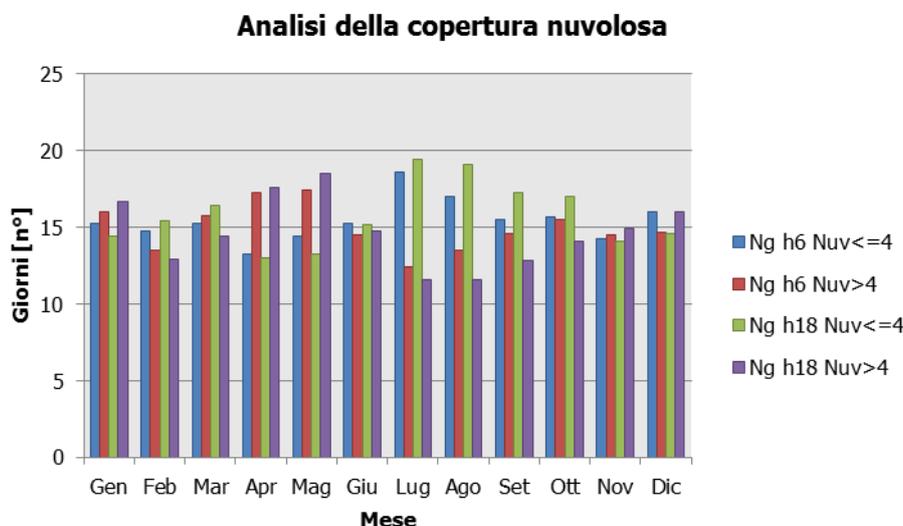


Figura 1-19 Analisi della copertura nuvolosa (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

#### 1.1.4 Regime Anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi al vento è possibile identificarne sia la direzione sia l'entità espressa in nodi, suddivisa nelle classi definite in Tabella 1-3. I valori registrati sono sinteticamente riportati nelle tabelle seguenti (cfr. Tabella 1-6, Tabella 1-7, Tabella 1-8, Tabella 1-9) con riferimento a quattro orari: 00:00, 06:00, 12:00, 18:00.

HH 00													
Mese	Calme (%)	N1-10 (%)	N11-20 (%)	N>20 (%)	NE1-10 (%)	NE11-20 (%)	NE>20 (%)	E1-10 (%)	E11-20 (%)	E>20 (%)	SE1-10 (%)	SE11-20 (%)	SE>20 (%)
Gen	63,6	14,25	1,75	0	11,4	0,88	0	0,44	0,22	0	0,88	0	0
Feb	57,38	18,4	1,69	0	11,38	1,21	0	1,94	0,24	0	1,21	0,24	0
Mar	49,1	21,3	0,45	0	12,11	0,9	0	3,14	0,9	0,22	2,24	0,9	0
Apr	41,91	18,85	2	0	16,19	1,11	0	5,76	0,89	0	3,33	0,44	0
Mag	45,03	21,94	0,46	0	15,7	1,85	0	3,46	0,92	0	1,15	0	0
Giu	42,45	23,82	0,71	0	13,44	0,71	0	3,77	0,94	0	3,07	0,94	0
Lug	39,17	19,59	1,38	0	16,59	3,46	0,23	5,07	0,23	0	1,84	0,46	0
Ago	39,77	20,23	0,69	0	20,46	1,38	0	3,91	0,23	0	1,84	0	0
Set	44,6	21,83	1,17	0	14,32	1,88	0	3,99	0,94	0	2,11	1,17	0
Ott	48,51	21,84	0,46	0	15,86	0,92	0	2,99	1,38	0,23	2,07	0,23	0
Nov	58,96	22,08	0,78	0	10,91	0,26	0	2,34	0,52	0	0,52	0,26	0
Dic	60,87	19,81	1,45	0	10,87	0,97	0	0,97	0,24	0	0	0	0
Mese	S1-10 (%)	S11-20 (%)	S>20 (%)	SW1-10 (%)	SW11-20 (%)	SW>20 (%)	W1-10 (%)	W11-20 (%)	W>20 (%)	NW1-10 (%)	NW11-20 (%)	NW>20 (%)	Vxx (KT)
Gen	0,44	0	0	1,1	0,44	0	0,88	0,44	0	1,1	1,75	0,44	46
Feb	2,18	0,24	0	0,73	0	0	0,97	0,24	0	1,69	0,24	0	47
Mar	0,67	0,67	0	0,9	0	0	1,12	1,12	0	3,14	1,12	0	51
Apr	1,77	0,44	0	1,33	0	0	2,44	0,44	0	2,66	0,22	0	48
Mag	0,92	0	0	0,92	0,23	0	3,23	0	0	3,7	0	0	92
Giu	1,42	0	0	2,12	0	0	4,25	0,47	0	1,42	0,24	0	94
Lug	2,3	0	0	2,76	0	0	2,07	0,69	0	3	1,15	0	80
Ago	2,76	0,23	0	3,22	0	0	1,38	0	0,23	3,22	0,23	0,23	80
Set	0,7	0,23	0	2,11	0,23	0	0,7	0	0	3,99	0	0	62
Ott	0,92	0,23	0	0,92	0	0	0,46	0	0	2,53	0,23	0	63
Nov	0,52	0	0,26	0,78	0	0	0,26	0,26	0	0,78	0,52	0	94
Dic	0,48	0	0	0,24	0	0	1,21	0,24	0	1,21	1,21	0	71

Tabella 1-6 Andamento della regime anemometrico ore 00:00 (fonte: *Atlante Climatico – dati stazione di Bergamo Orio al Serio*)

HH 06													
Mese	Calme (%)	N1-10 (%)	N11-20 (%)	N>20 (%)	NE1-10 (%)	NE11-20 (%)	NE>20 (%)	E1-10 (%)	E11-20 (%)	E>20 (%)	SE1-10 (%)	SE11-20 (%)	SE>20 (%)
Gen	60,59	18,02	0,68	0	8,9	0,56	0	1,13	0,45	0	1,01	0,11	0

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

Feb	56,7	21,4	0,75	0	9,26	0,38	0	1,38	0,38	0	1,5	0	0
Mar	47,85	26,02	1,36	0	11,43	0,57	0	2,49	1,13	0,11	1,92	0	0
Apr	49,6	20,65	0,81	0	14,07	0,12	0	3,58	0,92	0	1,85	0,69	0
Mag	65,15	15,43	0,22	0	7,88	0,44	0	3	0,22	0	1,44	0,22	0
Giu	64,37	16,03	0,71	0	8,43	0,36	0	3,21	0,12	0	1,54	0,36	0
Lug	59,61	21,27	0,57	0	10,81	0,57	0	2,84	0,23	0	0,8	0,11	0
Ago	56,58	23,09	0,35	0	11,66	0,69	0	2,31	0,46	0	0,81	0,23	0
Set	54,1	23,19	0,35	0	11,01	0,35	0	2,81	0,23	0	2,11	0,12	0
Ott	51,58	24,1	0,45	0	11,31	0,34	0	3,17	0,45	0	2,04	0	0
Nov	58,07	24,08	1,1	0	8,44	0,37	0	1,34	0,24	0	1,22	0	0
Dic	56,83	19,86	0,57	0	9,07	0,57	0	1,26	0,23	0,11	1,03	0,11	0
Mese	S1-10 (%)	S11-20 (%)	S>20 (%)	SW1-10 (%)	SW11-20 (%)	SW>20 (%)	W1-10 (%)	W11-20 (%)	W>20 (%)	NW1-10 (%)	NW11-20 (%)	NW>20 (%)	Vxx (KT)
Gen	0,68	0	0	1,24	0	0	2,25	0,56	0	3,04	0,56	0,11	
Feb	1,38	0	0	2,13	0	0	1	0,13	0	2,75	0,88	0	
Mar	1,58	0	0	1,47	0	0	1,13	0,23	0	2,15	0,57	0	
Apr	1,73	0,12	0	1,27	0	0	1,15	0,12	0	2,65	0,46	0	
Mag	1,11	0	0	0,67	0,11	0	1,33	0	0	2,44	0,11	0	
Giu	1,07	0	0	0,83	0,12	0	1,43	0	0	1,19	0,24	0	
Lug	0,46	0	0	0,68	0	0	0,68	0,23	0	0,91	0,23	0	
Ago	0,69	0	0	0,92	0	0	0,35	0	0,12	1,39	0,23	0	
Set	1,17	0	0	1,64	0	0	0,82	0	0	1,99	0,12	0	
Ott	1,02	0,11	0	1,81	0	0	1,36	0	0	2,04	0,23	0	
Nov	0,61	0	0	0,86	0	0	1,47	0,37	0	1,83	0	0	
Dic	1,61	0	0	1,15	0	0	3,56	0,46	0	3,1	0,34	0	

Tabella 1-7 Andamento della regime anemometrico ore 06:00 (fonte: *Atlante Climatico – dati stazione di Bergamo Orio al Serio*)

HH 12													
Mese	Calme (%)	N1-10 (%)	N11-20 (%)	N>20 (%)	NE1-10 (%)	NE11-20 (%)	NE>20 (%)	E1-10 (%)	E11-20 (%)	E>20 (%)	SE1-10 (%)	SE11-20 (%)	SE>20 (%)
Gen	66,78	2,02	0,45	0,11	1,8	0,56	0	1,01	0,22	0	2,58	0,45	0
Feb	50,63	3,13	0,38	0,13	2,38	0	0	0,88	0,38	0	5,5	0,63	0
Mar	32,99	2,37	0,56	0	0,68	0,23	0,11	2,49	1,58	0	6,89	2,15	0
Apr	19,66	1,83	0,69	0,23	1,26	0,57	0	3,54	1,37	0,11	7,09	2,97	0
Mag	23,03	1,78	0,33	0	2	1	0,11	3,23	1	0	5,12	2,56	0
Giu	22,27	2,49	0,47	0	2,13	0,12	0	2,84	0,83	0	8,06	1,9	0
Lug	22,89	1,37	0,46	0	1,59	0,23	0,11	2,28	0,46	0	8,31	1,14	0

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

Ago	23,66	2,05	0,91	0	2,28	0,23	0	3,53	0,23	0,11	7,17	1,37	0,11
Set	39,37	2,12	0,59	0,12	2,35	0,35	0	4,11	0,94	0	5,88	0,94	0
Ott	51,03	2,4	0,23	0	3,08	0	0	3,88	0,91	0	3,88	0,57	0
Nov	58,36	2,93	0,24	0	2,08	0,12	0	2,56	0,85	0	2,08	0,49	0
Dic	66,78	1,37	0,34	0,11	1,6	0,11	0	1,26	0,23	0	3,21	0	0
Mese	S1-10 (%)	S11-20 (%)	S>20 (%)	SW1-10 (%)	SW11-20 (%)	SW>20 (%)	W1-10 (%)	W11-20 (%)	W>20 (%)	NW1-10 (%)	NW11-20 (%)	NW>20 (%)	Vxx (KT)
Gen	5,16	0	0	6,51	0,11	0	8,19	1,35	0,22	1,35	0,9	0,22	
Feb	10,13	0,38	0	10	0,5	0	8,75	2,63	0,25	2,13	1	0	
Mar	15,82	0,68	0	16,38	1,47	0,11	9,04	3,39	0,11	1,24	0,9	0,23	
Apr	20,11	1,14	0	20,46	1,71	0	11,09	3,2	0	1,6	0,57	0	
Mag	17,13	1,45	0	22,25	1,67	0	10,9	2,45	0	3,11	0,22	0	
Giu	16,59	0,95	0	22,04	1,42	0	13,03	1,42	0,12	1,9	0,36	0,12	
Lug	20,84	1,03	0	21,64	0,8	0	11,16	2,05	0,11	1,37	0,46	0,23	
Ago	18,89	0,68	0	23,32	0,46	0,11	10,69	0,91	0	1,93	0,34	0	
Set	11,87	0,47	0	13,75	0,35	0	12,34	1,29	0,12	2,59	0,24	0	
Ott	9,25	0,34	0	12,79	0,34	0	7,42	1,37	0	2,05	0,34	0	
Nov	9,16	0	0	7,69	0	0	8,91	1,34	0,12	2,56	0,49	0	
Dic	5,84	0	0	7,1	0	0	6,76	1,6	0,46	1,83	0,92	0,11	

Tabella 1-8 Andamento della regime anemometrico ore 12:00 (fonte: *Atlante Climatico – dati stazione di Bergamo Orio al Serio*)

HH 18													
Mese	Calme (%)	N1-10 (%)	N11-20 (%)	N>20 (%)	NE1-10 (%)	NE11-20 (%)	NE>20 (%)	E1-10 (%)	E11-20 (%)	E>20 (%)	SE1-10 (%)	SE11-20 (%)	SE>20 (%)
Gen	76,19	5,53	0,56	0,11	2,82	0,34	0	2,03	0,34	0	1,02	0,11	0
Feb	77,39	1,99	0,37	0	2,61	0,12	0	1,24	0	0	3,35	0	0
Mar	59,11	1,6	1,37	0	2,98	0,46	0	2,63	1,03	0	6,07	1,26	0
Apr	47,03	4	1,6	0	3,89	0,92	0	3,78	2,29	0	6,41	2,06	0
Mag	46,29	3,77	1,55	0,11	4,98	2,1	0	4,65	0,89	0	6,42	1,33	0
Giu	34,43	4,25	2,24	0	4,36	1,65	0	3,89	0,59	0	8,02	1,42	0
Lug	35,33	1,81	1,59	0,11	3,17	1,59	0,11	2,15	0,45	0	9,06	1,59	0
Ago	49,09	2,96	0,57	0,11	3,76	0,57	0	2,73	1,03	0	7,86	0,8	0
Set	65,77	3,86	0,7	0	4,56	0,35	0	4,67	0,58	0	3,5	0,47	0
Ott	72,43	7,46	0,34	0	3,28	0,68	0	3,28	1,02	0	2,49	0,45	0
Nov	71,52	10,3	0,61	0,24	3,52	0,24	0	2,3	0,12	0	1,94	0,24	0
Dic	71,03	8,85	0,34	0	3,45	0,11	0	1,95	0,11	0	0,92	0,11	0

Mese	S1-10 (%)	S11-20 (%)	S>20 (%)	SW1-10 (%)	SW11-20 (%)	SW>20 (%)	W1-10 (%)	W11-20 (%)	W>20 (%)	NW1-10 (%)	NW11-20 (%)	NW>20 (%)	Vxx (KT)
Gen	0,9	0	0	1,47	0	0	3,5	0,34	0	3,39	1,35	0	
Feb	2,73	0,12	0	1,74	0,12	0	3,6	1,24	0,12	1,86	1,37	0	
Mar	8,36	0	0	4,7	0,11	0	4,81	1,37	0	1,83	2,06	0	
Apr	10,3	0,69	0	7,55	0,57	0	4	1,37	0	2,29	1,03	0	
Mag	9,3	0,22	0	7,97	0,33	0	5,76	1,66	0	1,66	0,66	0	
Giu	13,33	0,83	0	12,03	0,94	0	6,96	1,65	0,12	2,36	0,71	0	
Lug	20,84	0,11	0	10,19	0,23	0,11	6,23	1,59	0	2,6	1,13	0	
Ago	12,98	0,23	0	8,77	0,46	0	3,99	1,37	0	2,05	0,46	0,11	
Set	4,56	0,12	0	4,79	0	0	3,5	0,12	0	1,99	0,47	0	
Ott	2,6	0	0	1,36	0	0	1,81	0,79	0	1,36	0,56	0	
Nov	1,58	0	0	1,58	0	0	3,15	0,61	0	1,82	0	0,12	
Dic	2,99	0	0	2,41	0	0	2,87	0,23	0	3,56	0,46	0,11	

Tabella 1-9 Andamento della regime anemometrico ore 18:00 (fonte: *Atlante Climatico – dati stazione di Bergamo Orio al Serio*)

I diagrammi seguenti riportano in funzione delle diverse stagioni e dei diversi orari le direzioni di provenienza dei venti, espressi in termini percentuali.

Al fine di una corretta lettura dei diagrammi riportati nelle figure seguenti è opportuno specificare come le diverse aree rappresentano la frequenza della direzione del vento osservata in funzione delle classi di intensità, rispettivamente partendo dal margine interno a quello esterno:

- tra 1 e 10 nodi – area in blu;
- tra 10 e 20 nodi – area in rosso;
- superiore a 20 nodi – area in verde.

La frequenza percentuale di ciascuna classe si ottiene sottraendo al valore mostrato nel diagramma, quello riferito all'area più interna. Solo per la prima classe (area in blu) il valore evidenziato sul diagramma anemometrico coincide con la frequenza.

I diagrammi anemometrici sono rappresentati per stagioni, considerando:

- la stagione invernale nei mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio;
- la stagione primaverile nei mesi Marzo, Aprile e Maggio;
- la stagione estiva nei mesi di Giugno, Luglio e Agosto;
- la stagione autunnale nei mesi di Settembre, Ottobre e Novembre.

L'analisi dei diagrammi mostra per la stagione invernale una prevalenza di vento con direzione primo quadrante (N e NE ) nelle ore notturne e mattutine e delle velocità in termini di nodi concentrate principalmente nella prima classe e solo molto raramente nella terza (cfr. Figura 1-20).

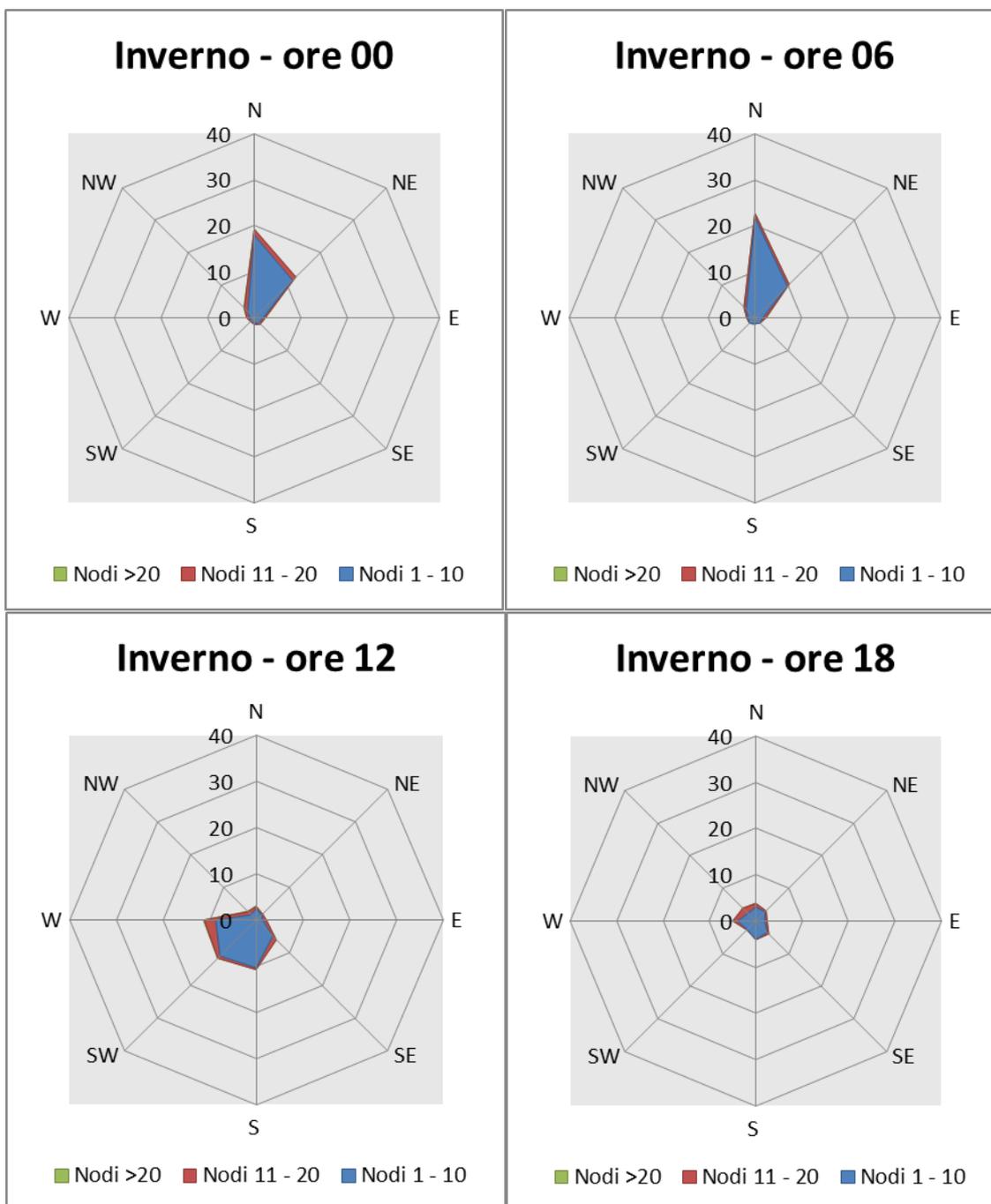


Figura 1-20 Regime anemometrico invernale nelle 4 ore di riferimento (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Nella stagione primaverile si registra una buona percentuale di provenienza in direzione SW – S nella seconda parte della giornata. In termini di velocità del vento si registra nella seconda metà della giornata una maggioranza percentuale della seconda classe, mentre nella prima parte resta dominante la classe da 1 a 10 nodi (cfr. Figura 1-21).

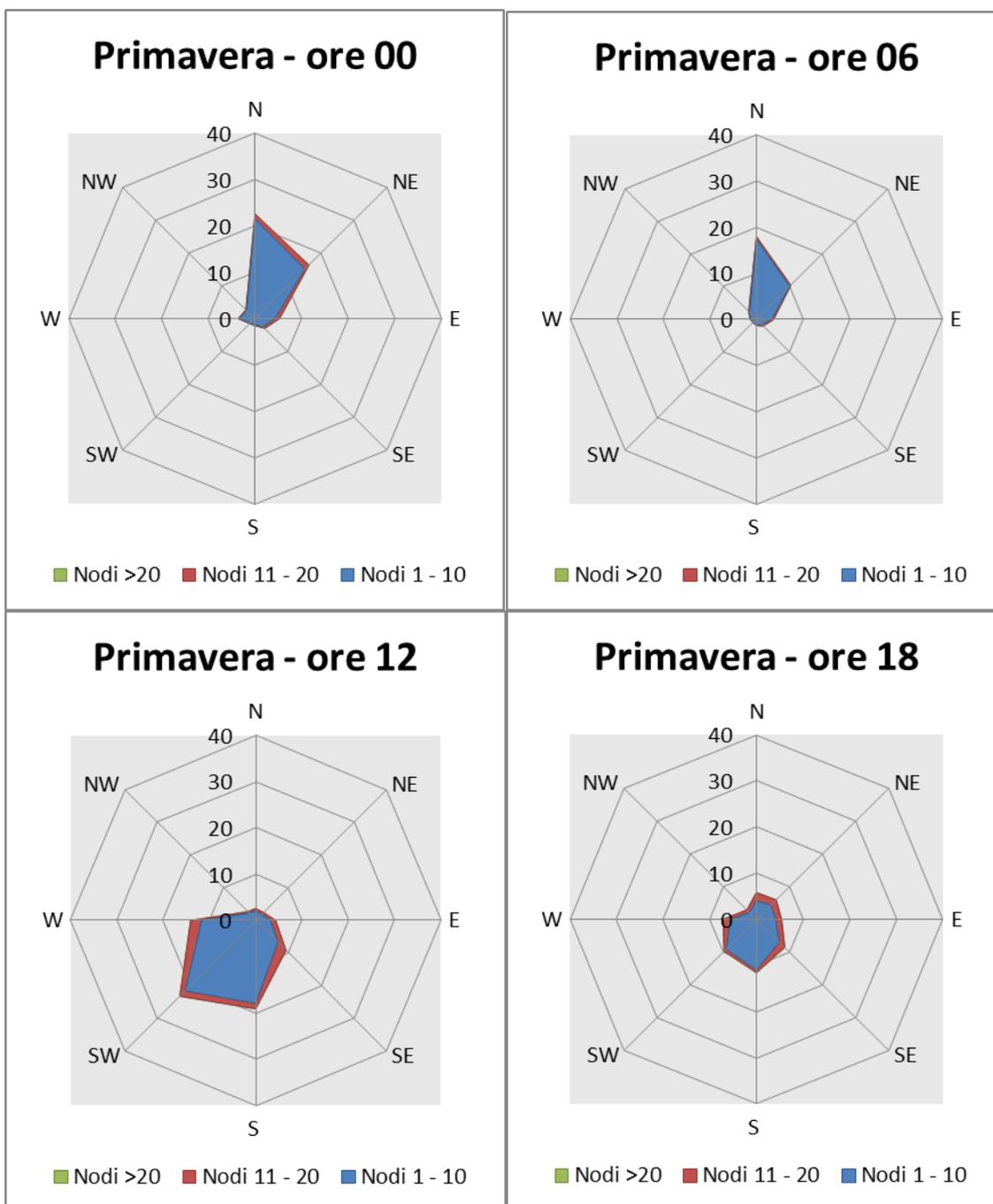


Figura 1-21 Regime anemometrico primaverile nelle 4 ore di riferimento (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

La stagione estiva mostra un andamento analogo a quello primaverile (cfr. Figura 1-22).

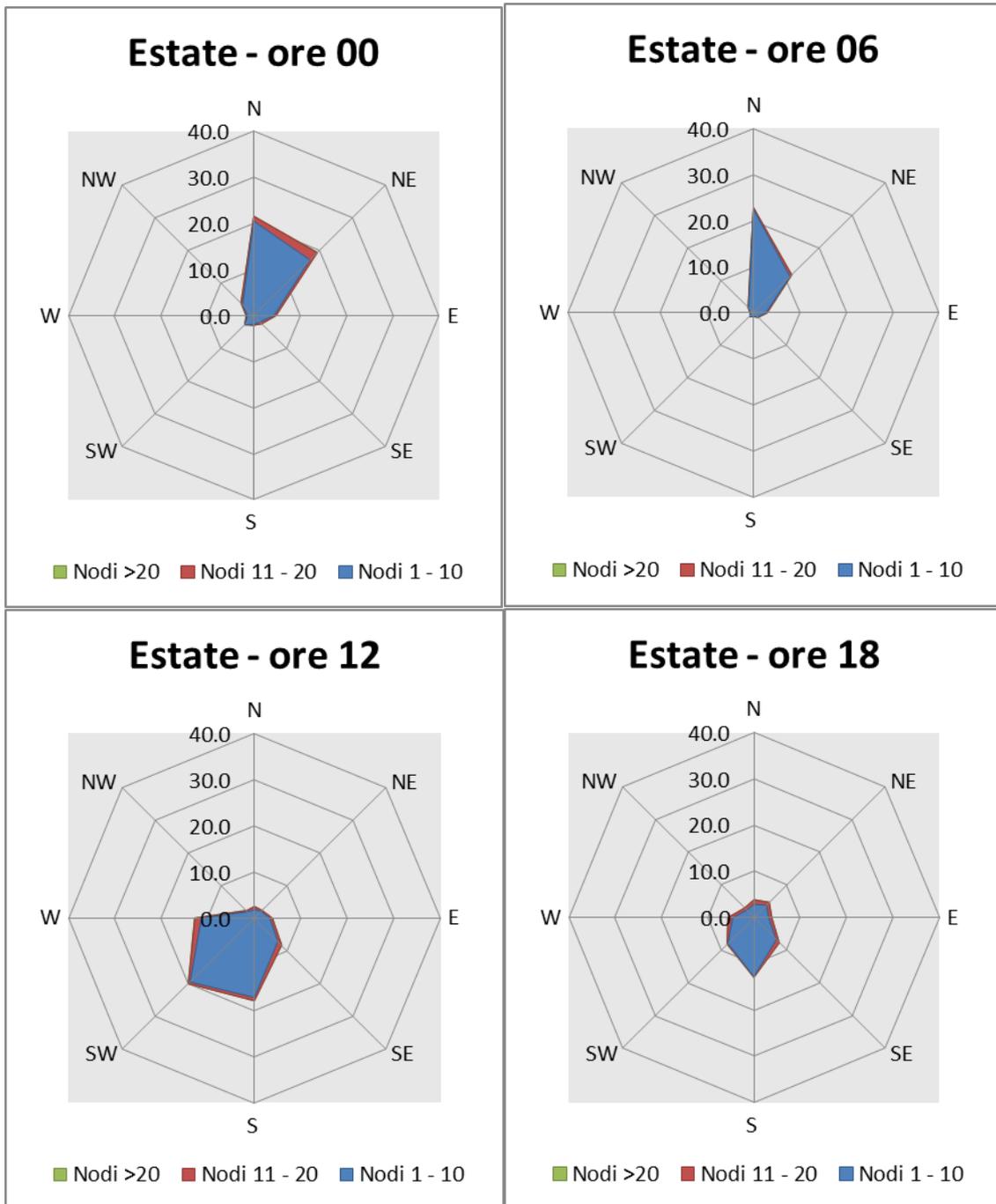


Figura 1-22 Regime anemometrico estivo nelle 4 ore di riferimento (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

La stagione autunnale mostra invece degli andamenti analoghi a quelli invernali (cfr. Figura 1-23).

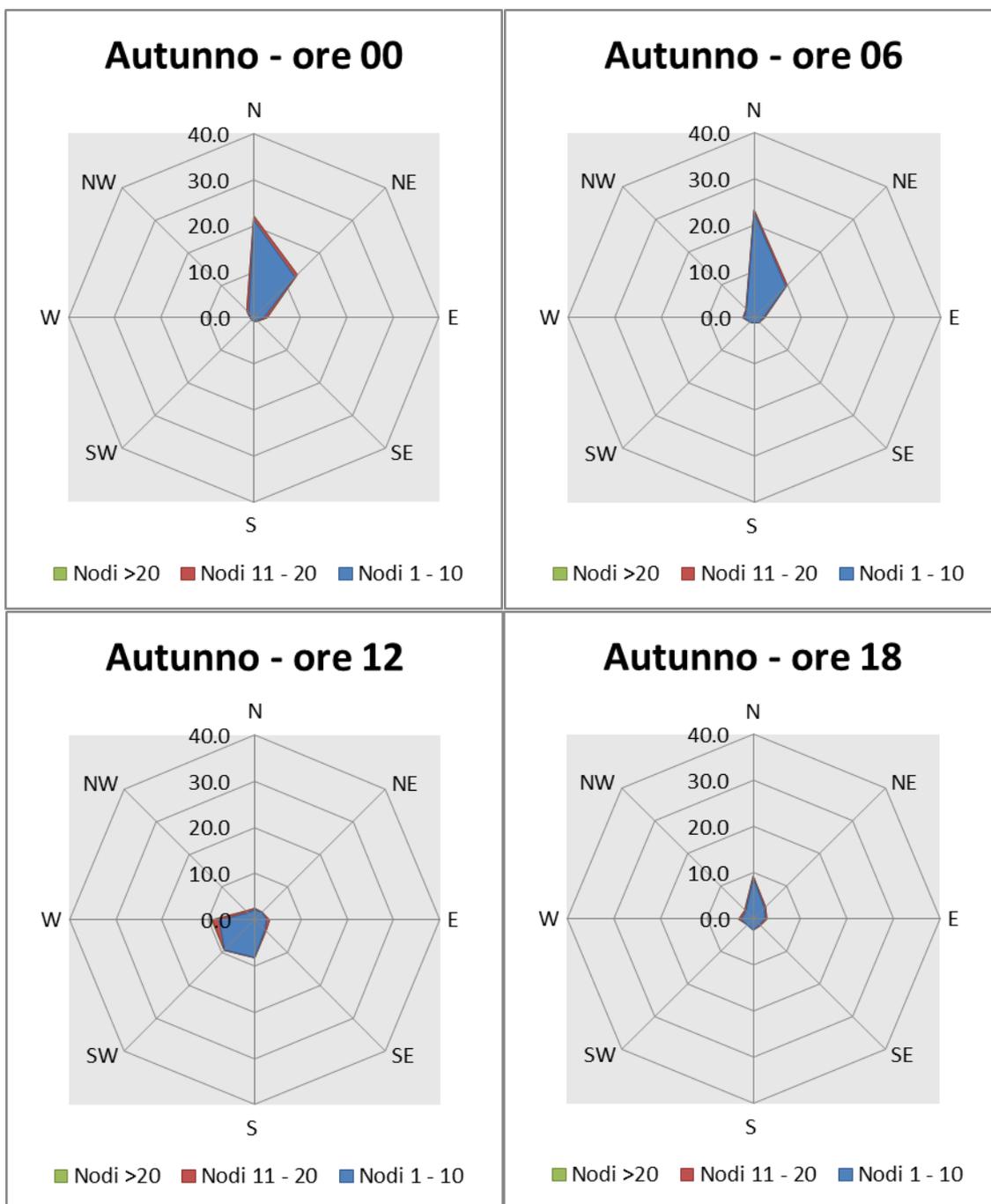


Figura 1-23 Regime anemometrico autunnale nelle 4 ore di riferimento (fonte: *elaborazione da dati Atlante Climatico stazione di Bergamo Orio al Serio*)

## 1.2 Dato Attuale: Bollettino METAR anno 2015

### 1.2.1 Descrizione formato e disponibilità dei dati

L'aeronautica militare registra costantemente i dati meteorologici che vengono rilevati dagli osservatori e dalle stazioni. Essi sono aggregati per l'utilizzo, la trasmissione e l'archiviazione sotto forma di bollettini meteorologici.

In particolare, il bollettino METAR è un messaggio di osservazione in superficie di tipo aeronautico, che viene emesso ogni mezz'ora oppure ogni ora a seconda del servizio della stazione.

I principali parametri meteorologici utilizzati sono:

- **Temperatura:** la temperatura dell'aria viene espressa in gradi centigradi [°C]. Affinché la rilevazione sia rappresentativa, i termometri sono ubicati ad un'altezza variabile tra 1,25 e 2 metri dal suolo su terreno controllato (quale manto erboso), protetti da precipitazioni e radiazione incidente in apposita capannina (con apertura a nord), mantenendo libera la circolazione dell'aria. In particolare per il bollettino METAR la temperatura dell'aria è registrata ogni ora o mezz'ora in °C, approssimata al grado intero;
- **Vento:** le unità di misura adottate per il vento sono: per l'intensità, che corrisponde alla velocità dell'aria rispetto al suolo, il nodo (KT, corrisponde a 1.852 km/h), per la direzione di provenienza il grado sessagesimale (si assume come valore 0 la calma di vento e 360 il nord). Lo strumento di misura, chiamato anemometro, è posto, lontano da ostacoli, ad un'altezza di 10 metri dal suolo. In particolare per il bollettino METAR viene fornito il vento al suolo - direzione e intensità del vento al suolo rilevate con le stesse modalità punto precedente; viene qui indicata anche la raffica, che consiste nella velocità massima del vento (su una media mobile strumentale di 3 secondi) riferita allo stesso periodo di 10 minuti, quando questa supera di almeno 10 nodi il valore dell'intensità;
- **Pressione:** le unità di misura utilizzate sono l'hectoPascal [hPa] e il millibar [mb], che coincidono numericamente. I barometri sono di tipo a colonna di mercurio oppure a capsule aneroidi (interfacciate da regoli o sensori) ed indicano la pressione misurata al livello della stazione. In particolare per il bollettino METAR viene fornito in hPa il QNH ovvero la pressione ridotta al livello del mare secondo un'atmosfera standard (ICAO);
- **Visibilità:** la visibilità orizzontale viene stimata empiricamente dall'operatore attraverso l'osservazione di opportuni riferimenti posti a distanza nota sul giro d'orizzonte oppure, e questo solo nei metar, misurata tramite un visibilometro lungo le piste aeroportuali (RVR). Questo dato verrà usato come dato di input per le simulazioni modellistiche relative alle analisi delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera e rielaborato secondo il format utile al modello stesso.

La stazione meteorologica di riferimento per l'analisi dei dati meteo climatici dell'area in esame, coerentemente con i dati storici analizzati nel paragrafo precedente, è rappresentata dalla stazione di Bergamo Orio al Serio, gestita dall'ENAV e localizzata all'interno dell'aeroporto di Orio al Serio, a 237 metri s.l.m. e alle coordinate geografiche Lat: 45.668331 Long: 9.700555.

I dati a disposizione nella maggior parte dei casi sono ogni 30 minuti, per cui per ogni mese vengono registrati circa 1450 dati. Per le simulazioni modellistiche, però, i software richiedono il dato dei parametri per ogni ora dell'anno. I valori acquisiti per la stazione di Bergamo sono stati pertanto analizzati ed elaborati in relazione ai soli dati orari.

Al fine di poter descrivere compiutamente lo scenario attuale, oltre alla caratterizzazione storica del dato meteorologico eseguita nel Par. 1.1, si riportano le risultanze dei parametri meteo climatici principali registrati nell'anno 2015.

### 1.2.2 Regime Termico

In riferimento alle temperature orarie dell'anno 2015 si possono osservare alcuni valori al di sotto degli 0 °C, in particolare questi sono stati registrati nei mesi invernali con un minimo pari -4,5 °C. I massimi invece si registrano nei mesi estivi con un valore massimo assoluto pari a 36,0 °C nel mese di Luglio. La media annua è circa pari a 14 °C.

Tali valori mostrano un buon grado di coerenza con i dati storici esposti nel Par. 1.1.2. Il valore massimo annuale è infatti inferiore al massimo assoluto nelle tre decadi di riferimento anche se superiore alla temperatura massima media, registrata nello stesso periodo. Analoga considerazione può essere fatta per quanto riguarda la minima registrata nei mesi invernali.

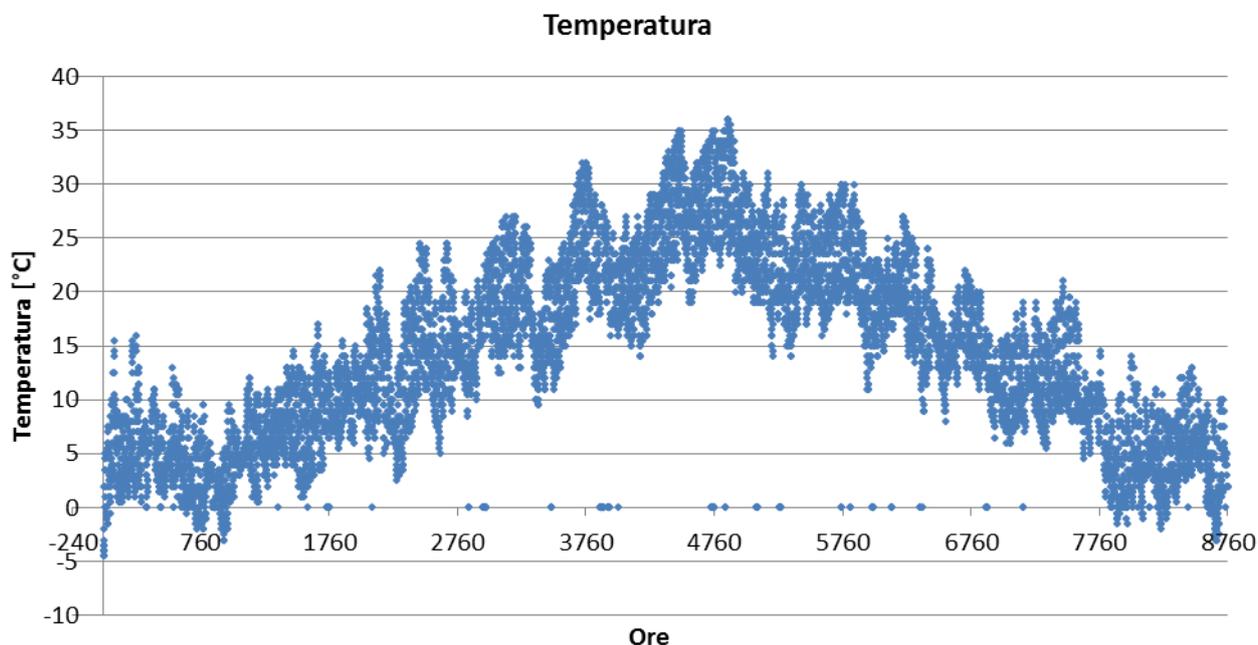


Figura 1-24 Temperatura oraria-anno 2015 (fonte: *elaborazione dati Bollettino METAR 2015 stazione di Bergamo Orio al Serio*)

### 1.2.3 Regime Anemometrico

I valori relativi all'intensità del vento (cfr. Figura 1-25) registrano una media nel 2015 pari a 9,7 km/h, con valori massimi nell'intorno dei 55 km/h.

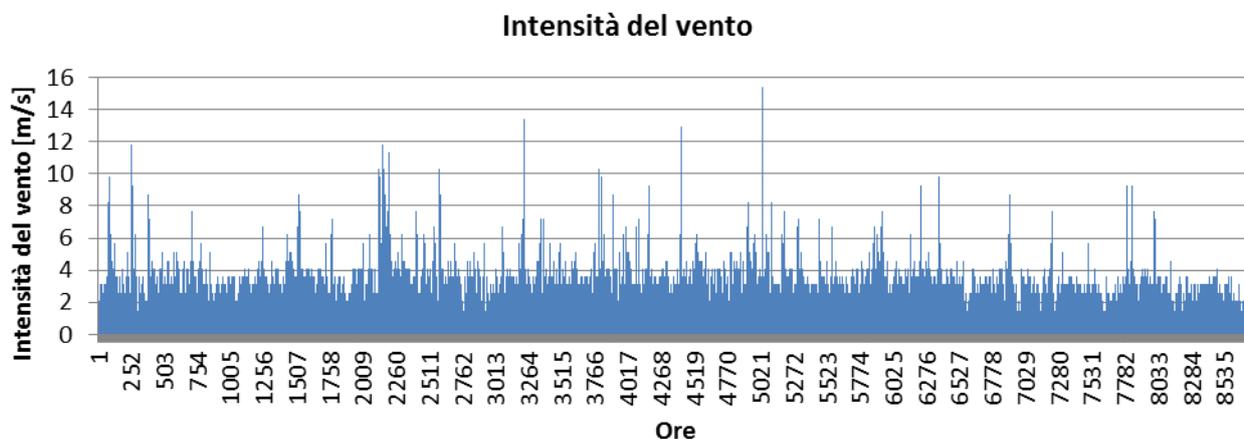


Figura 1-25 Intensità del vento-anno 2015 (fonte: *elaborazione dati Bollettino METAR 2015 stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Per quanto riguarda la frequenza percentuale per direzione del vento, Figura 1-26, si può notare una prevalenza per le direzioni nel primo e terzo quadrante con una prevalenza nelle direzioni N e SW.

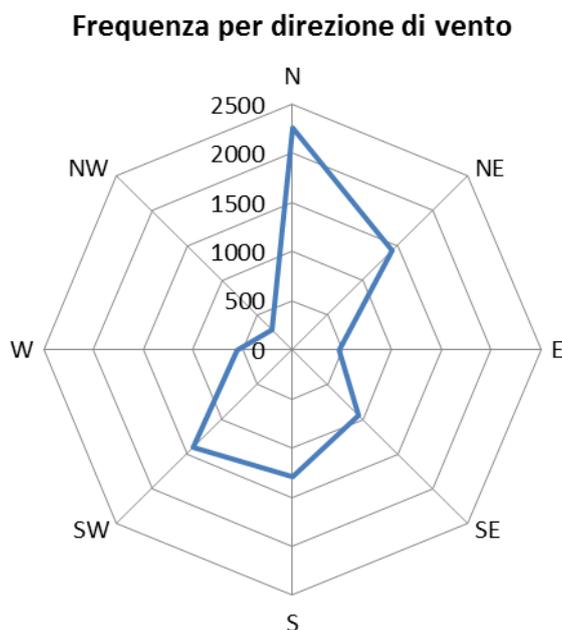


Figura 1-26 Frequenza per direzione di vento - anno 2015 (fonte: *elaborazione dati Bollettino METAR 2015 stazione di Bergamo Orio al Serio*)

Anche in questo caso, analogamente a quanto visto per l'indicatore precedente, si può definire un buon grado di coerenza tra il dato 2015 ed il dato storico. Dal punto di vista dell'intensità del vento infatti i valori oscillano tra gli 0 ed i 10 m/s, ovvero tra gli 0 ed i 20 nodi, essendo quindi ricompresi nelle prime due classi di intensità e solo raramente nella terza.

Dal punto di vista della direzione è possibile individuare alcune direzioni prevalenti, ricadenti nelle stesse classi analizzate per il dato storico. La direzione prevalenti sono concentrate nel primo quadrante (N-NE) con una buona percentuale concentrata anche nelle direzioni da SW a SE.

## 1.2.4 Pressione

Dalla Figura 1-27 si può notare come i valori relativi alla pressione si mantengono relativamente costanti lungo tutte le ore dell'anno.

Nel dettaglio vengono registrati valori mediamente compresi tra i 950 ed i 1000 hPa, con una media di circa 988 hPa.

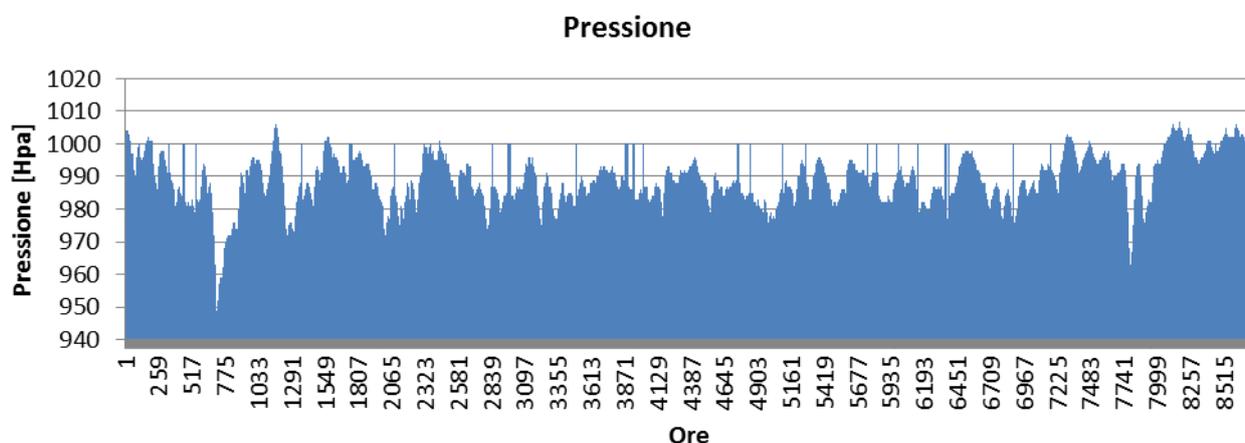


Figura 1-27 Pressione atmosferica anno 2015 (fonte: *elaborazione dati Bollettino METAR 2015 stazione di Bergamo Orio al Serio*)

## 2 CAMPAGNE DI MISURA CON MEZZI MOBILI EFFETTUATE DA ARPA LOMBARDIA

### 2.1 Numero e localizzazione delle campagne

Il monitoraggio in continuo attraverso la rete delle centraline fisse viene integrato da una serie di campagne mobili effettuate da ARPA in tutto il territorio provinciale mediante l'uso di un laboratorio mobile e una serie di campionatori passivi. Per quanto riguarda il territorio intorno all'aeroporto interessato dal sorvolo degli aeromobili, dal 2006 ad oggi sono state effettuate 30 campagne mobili atte a valutarne l'inquinamento atmosferico. Di queste, 23 sono state effettuate su richiesta di SACBO per il monitoraggio della qualità dell'aria all'interno del territorio aeroportuale. I Comuni interessati dal monitoraggio sono: Bergamo, Azzano San Paolo, Orio al Serio, Grassobbio e Seriate.

Le centraline mobili utilizzate per il monitoraggio sono state distinte in funzione della finalità e del richiedente. In particolare sono state individuate tre tipologie:

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

- Centralina mobile SACBO (cod A.xn), riferita alle campagne mobili richieste dalla Società di gestione per il monitoraggio del territorio aeroportuale in relazione alle rotte di volo;
- Centralina mobile comunale aeroportuale (cod. B.xn), riferita alle campagne mobili richieste dai diversi Comuni per il monitoraggio della qualità dell'aria in prossimità dell'aeroporto;
- Centralina mobile comunale (cod. C.xn), riferita alle campagne mobili richieste dai diversi Comuni per il monitoraggio del proprio territorio.

In Tabella 2-1 sono riportate la tipologia ed i codici identificativi dei punti di monitoraggio. Quest'ultimi indicano la località ed il numero progressivo per la stessa località. Le postazioni di monitoraggio ed i relativi risultati sono stati georeferiti e riportati in Figura 2-1.

Anno		Inverno		Primavera		Estate		Autunno
2006	A.Or.1	Orio al Serio 08/02/2006- 22/02/2006	C.Gr.1	Grassobbio 05/04/2006- 03/05/2006	A.Or.2	Orio al Serio 28/07/2006- 17/08/2006		
2007	A.Or.3	Orio al Serio 26/02/2007- 11/03/2007			A.Or.4	Orio al Serio 14/09/2007- 30/09/2007		
					B.Se.1	Seriate 14/08/2007- 12/09/2007		
2008	A.Gr.2	Grassobbio 26/02/2008- 10/03/2008					A.Gr.3	Grassobbio 16/09/2008- 29/09/2008
							B.Or.5	Orio al Serio 30/09/2008- 02/11/2008
2009	A.Ca.1	Bergamo Campagnola 27/01/2009- 08/02/2009	A.Ca2	Bergamo Campagnola 04/06/2009- 21/06/2009				
	C.Gr.4	Grassobbio 02/12/2009- 06/01/2010	B.Gr.5	Grassobbio 08/04/2009- 02/06/2009				
2010	A.Az.1	Azzano S.Paolo 08/01/2010- 27/01/2010			A.Az.2	Azzano S.Paolo 10/09/2010- 04/10/2010		
					A.Co.1	Bergamo-Colognola 22/07/2010- 08/08/2010		
2011	A.Co.2	Bergamo-Colognola 02/03/2011- 20/03/2011			A.Se.3	Seriate 31/08/2011- 02/10/2011		
	A.Se.2	Seriate 10/02/2011- 27/02/2011						

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche  
 dei modelli di simulazione

Anno		Inverno		Primavera		Estate		Autunno
	C.Gr.6	Grassobbio 06/12/2011- 08/01/2012						
2012	A.Co.4	Bergamo-Colognola 19/12/2012- 06/01/2013	A.Co.3	Bergamo-Colognola 06/06/2012- 24/06/2012				
2013			A.Or.6	Orio al Serio 10/05/2013- 19/06/2013				
			A.Gr.7	Grassobbio 18/05/2013- 19/06/2013				
2014	A.Gr.8	Grossabbio 20/12/2013 – 14/02/2014			A.Or.8	Orio al Serio 08/05/2014 - 08/07/2014		
	A.Or.7	Orio al Serio 20/12/2013 – 14/02/2014			A.Gr.9	Grassobbio 08/05/2014 - 08/07/2014		
2015	B.Gr.10	Grossabbio 23/12/2014 – 07/03/2015						
	B.Or.9	Orio al Serio 23/12/2014 – 07/03/2015						

Tabella 2-1 Quadro sinottico delle indagini con mezzo mobile (fonte: ARPA Lombardia)

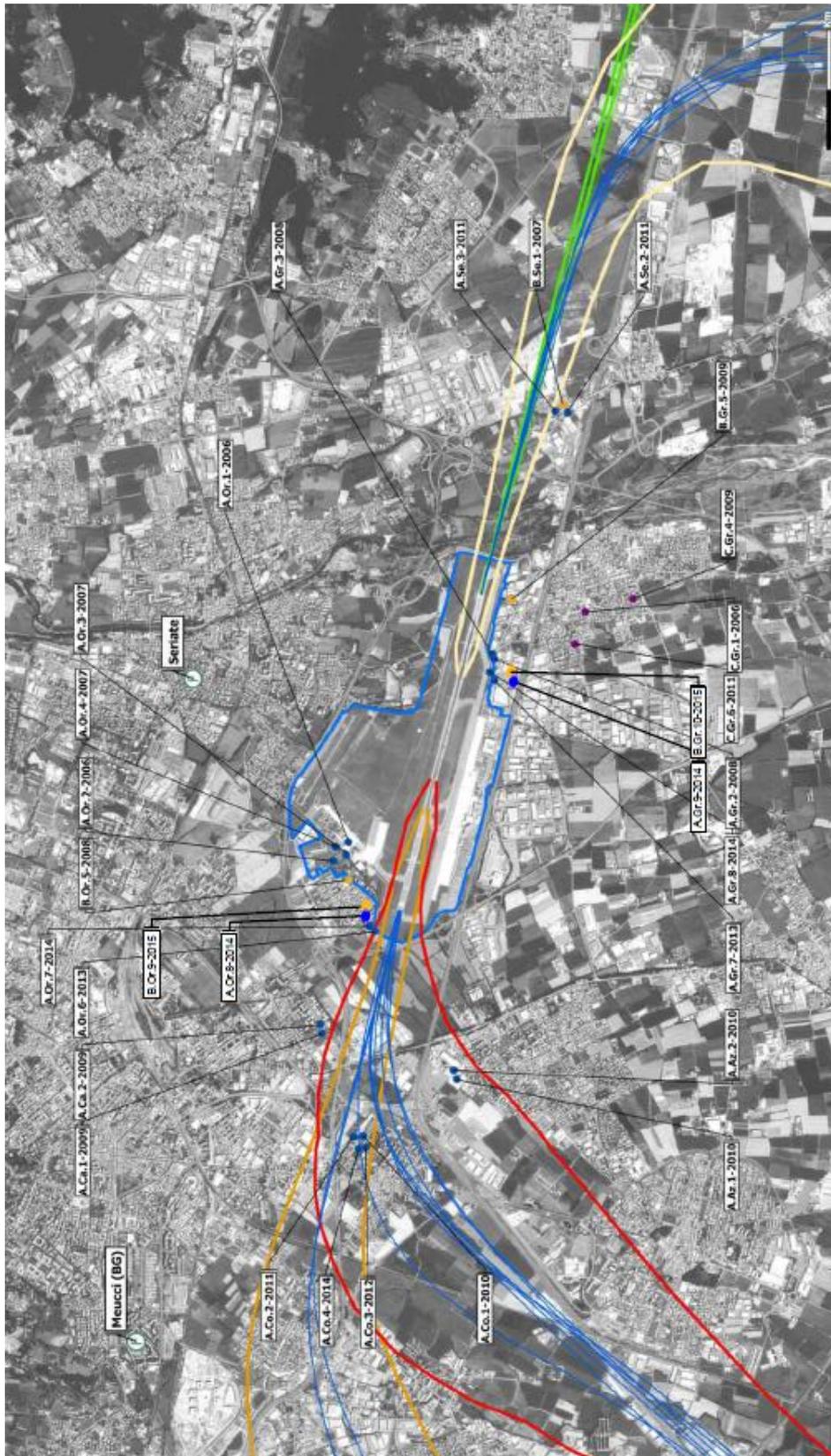


Figura 2-1 Localizzazione delle campagne di monitoraggio effettuate da ARPA

## 2.2 L'analisi dei dati

Nel presente paragrafo si riportano per area territoriale le principali risultanze delle diverse campagne di monitoraggio, effettuate con riferimento ai principali inquinanti analizzati. Nella tabella seguente per ogni campagna mobile si riportano gli inquinanti analizzati.

Anno	Data	Codice	Località	Inquinanti										
				PM10	NO2	SO2	O <sub>3</sub>	CO	BTX	PM2.5	PTS	Metalli pesanti	IPA	
2006	08/02/200-22/02/2006	A.Or.1	Orio al Serio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	05/04/200-03/05/2006	C.Gr.1	Grassobbio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	28/07/200-17/08/2006	A.Or.2	Orio al Serio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
2007	26/02/200-11/03/2007	A.Or.3	Orio al Serio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	14/09/200-30/09/2007	A.Or.4	Orio al Serio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	14/08/200-12/09/2007	B.Se.1	Seriate	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
2008	26/02/200-10/03/2008	A.Gr.2	Grassobbio	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	16/09/200-29/09/2008	A.Gr.3	Grassobbio	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	30/09/200-02/11/2008	B.Or.5	Orio al Serio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
2009	27/01/200-08/02/2009	A.Ca.1	Bergamo Campagnola	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	02/12/200-06/01/2010	C.Gr.4	Grassobbio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	04/06/200-21/06/2009	A.Ca.2	Bergamo Campagnola	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	08/04/200-02/06/2009	B.Gr.5	Grassobbio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
2010	08/01/201-27/01/2010	A.Az.1	Azzano S. Paolo	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	10/09/201-04/10/2010	A.Az.2	Azzano S. Paolo	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	22/07/201-08/08/2010	A.Co.1	Bergamo-Cognola	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
2011	02/03/201-20/03/2011	A.Co.2	Bergamo-Cognola	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	10/02/201-27/02/2011	A.Se.2	Seriate	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	06/12/201-08/01/2012	C.Gr.6	Grassobbio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	31/08/201-02/10/2011	A.Se.3	Seriate	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
2012	06/06/201-24/06/2012	A.Co.3	Bergamo-Cognola	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	19/12/201-06/01/2013	A.Co.4	Bergamo-Cognola	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
2013	10/05/201-19/06/2013	A.Or.6	Orio al Serio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	18/05/201-19/06/2013	A.Gr.7	Grassobbio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
2014	20/12/201-14/02/2014	A.Gr.8	Grassobbio	•	•	•	•	•	•	•	•	•		

Anno	Data	Codice	Località	Inquinanti									
				PM10	NO2	SO2	O <sub>3</sub>	CO	BTX	PM2.5	PTS	Metalli pesanti	IPA
	20/12/201-14/02/2014	A.Or.7	Orio al Serio	•	•	•	•	•	•				
	08/05/201-08/07/2014	A.Or.8	Orio al Serio	•	•	•	•	•	•				
	08/05/201-08/07/2014	A.Gr.9	Grassobbio	•	•	•	•	•	•				
2015	23/12/201-07/03/2015	B.Gr.10	Grassobbio	•	•		•	•	•	•			
	23/12/201-07/03/2015	B.Or.9	Orio al Serio	•	•	•	•	•	•	•			

Tabella 2-2 Quadro sinottico delle indagini con mezzo mobile e relativi inquinanti analizzati (fonte: ARPA Lombardia)

Nelle campagne di misura effettuate da ARPA vengono sempre messi a confronto i dati analizzati con quelli relativi ad altre stazioni di rilevamento facenti parte della rete di centraline fisse.

Il confronto ha lo scopo di verificare se si registra un'uniformità nei livelli di inquinamento o se è possibile individuare dei fenomeni correlati a sorgenti locali che influenzano la qualità dell'aria.

Di seguito per ogni comune in cui sono stati effettuati i monitoraggi si riporta tale confronto sugli inquinanti PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> ed SO<sub>2</sub>.

#### Comune di Orio al Serio

Le campagne effettuate sul territorio di Orio al Serio sono state 9 in diversi periodi dell'anno ed in diversi anni. In particolare hanno riguardato gli anni 2006, 2007, 2008, 2013, 2014 e 2015.



Figura 2-2 Campagne mobili sul territorio comunale di Orio al Serio

Le risultanze di tali analisi sono riportate sinteticamente nelle figure seguenti.

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

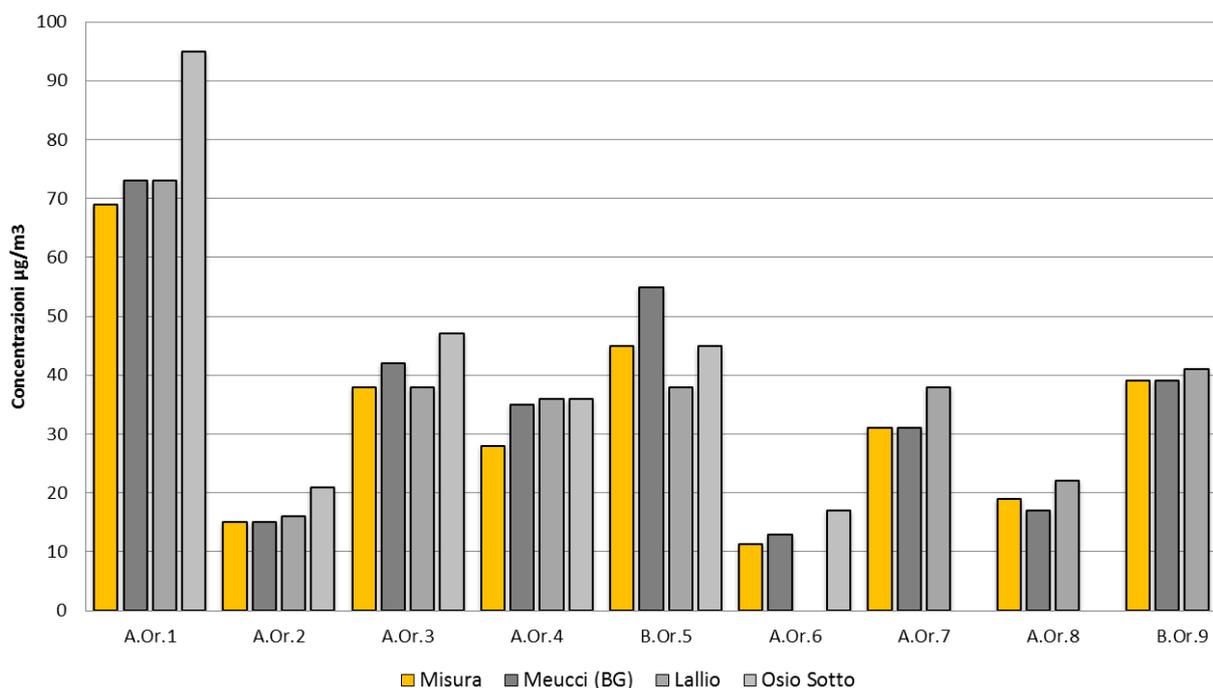


Figura 2-3 Orio al Serio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore medio nel periodo di misura

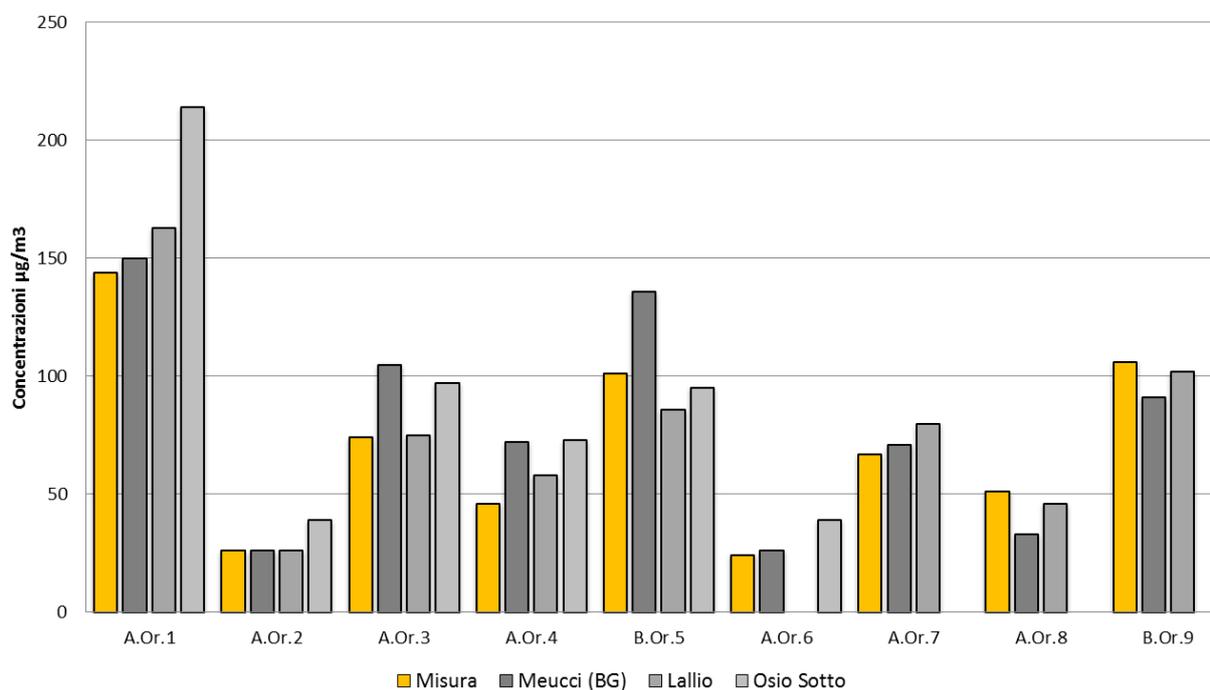


Figura 2-4 Orio al Serio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore massimo nel periodo di misura

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

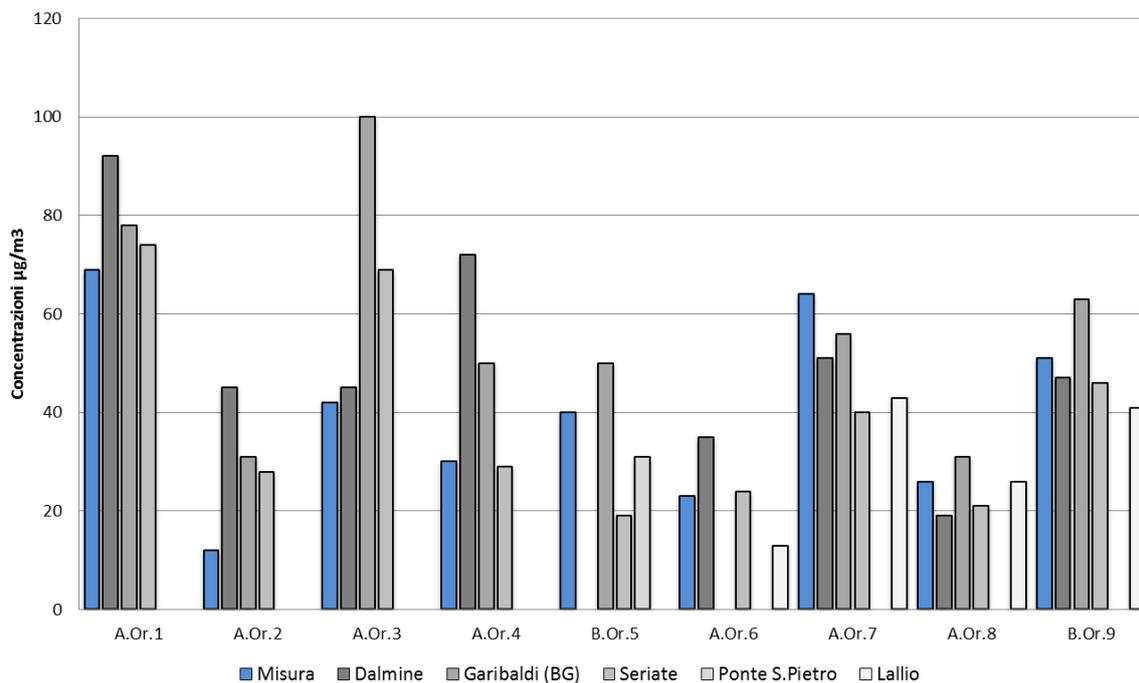


Figura 2-5 Orio al Serio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore medio nel periodo di misura

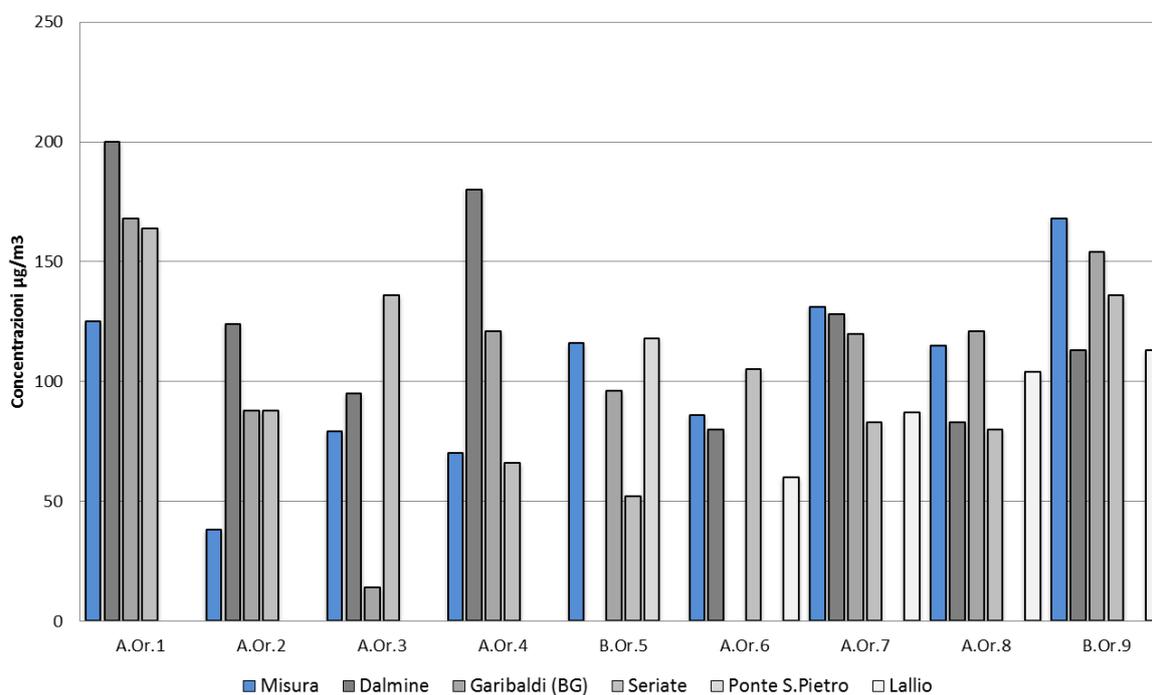


Figura 2-6 Orio al Serio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore massimo nel periodo di misura

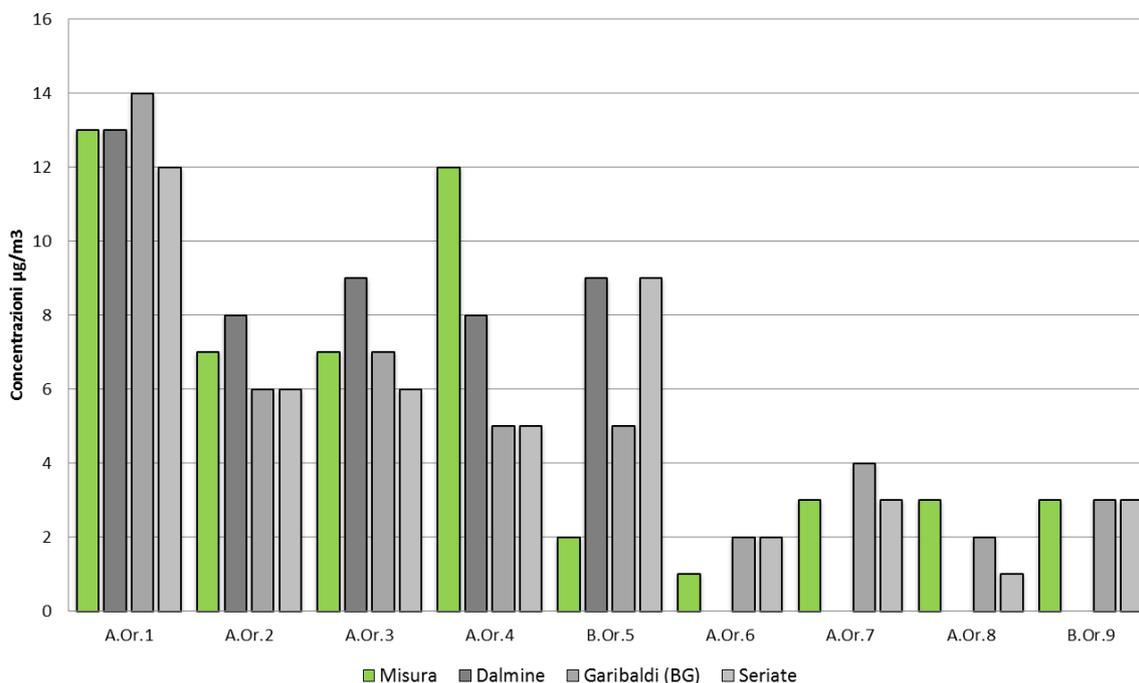


Figura 2-7 Orio al Serio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore medio nel periodo di misura

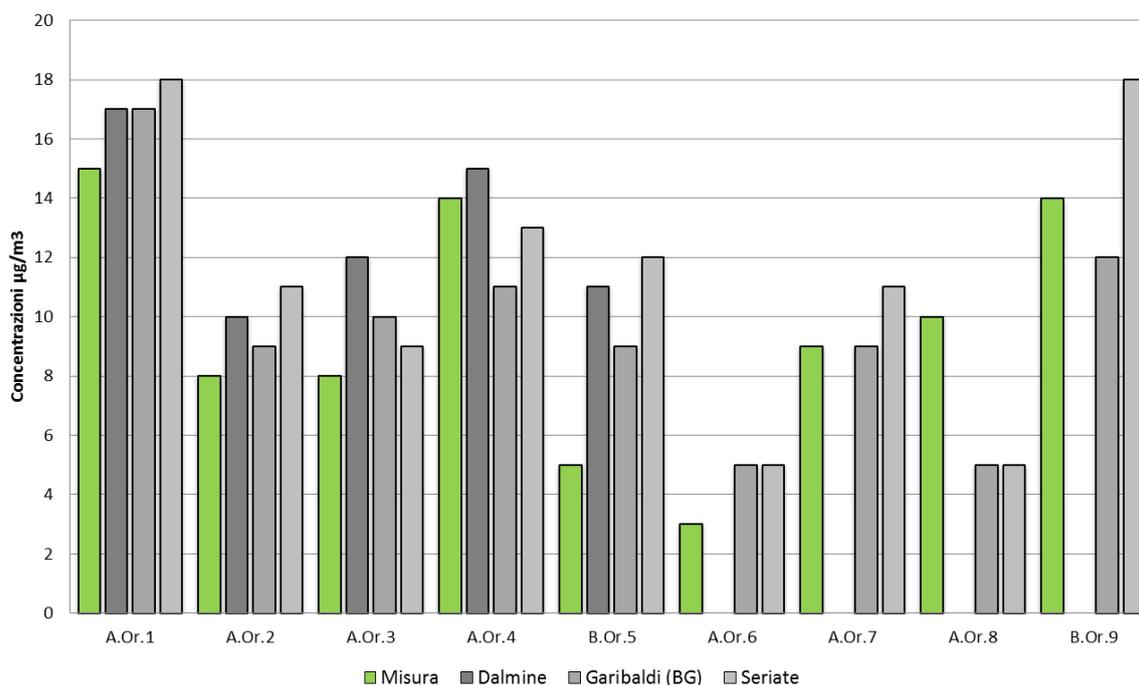


Figura 2-8 Orio al Serio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore massimo nel periodo di misura

### Comune di Grassobbio

Nel comune di Grassobbio sono state effettuate 10 campagne di rilevamento, rispettivamente negli anni 2006, 2008, 2009, 2011, 2013, 2014 e 2015.

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

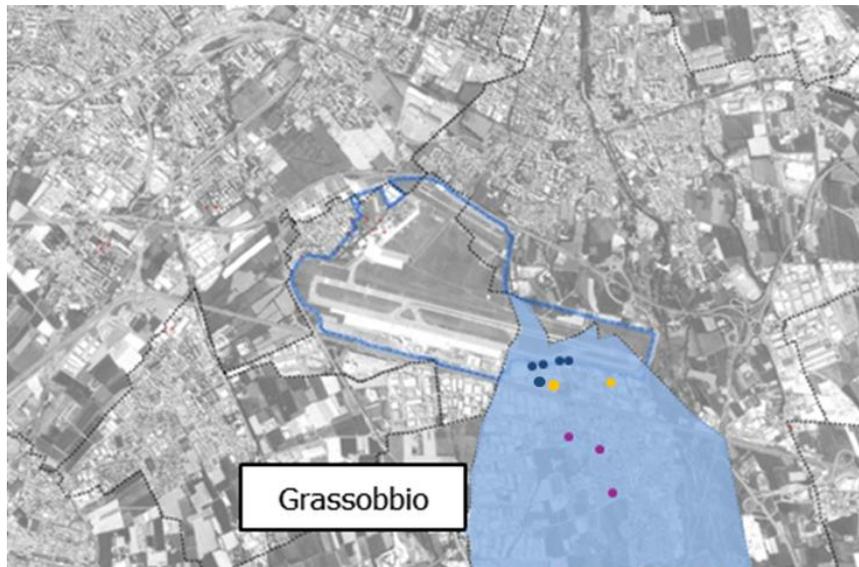


Figura 2-9 Campagne mobili sul territorio comunale di Grassobbio

Le risultanze di tali analisi sono riportate nei grafici seguenti.

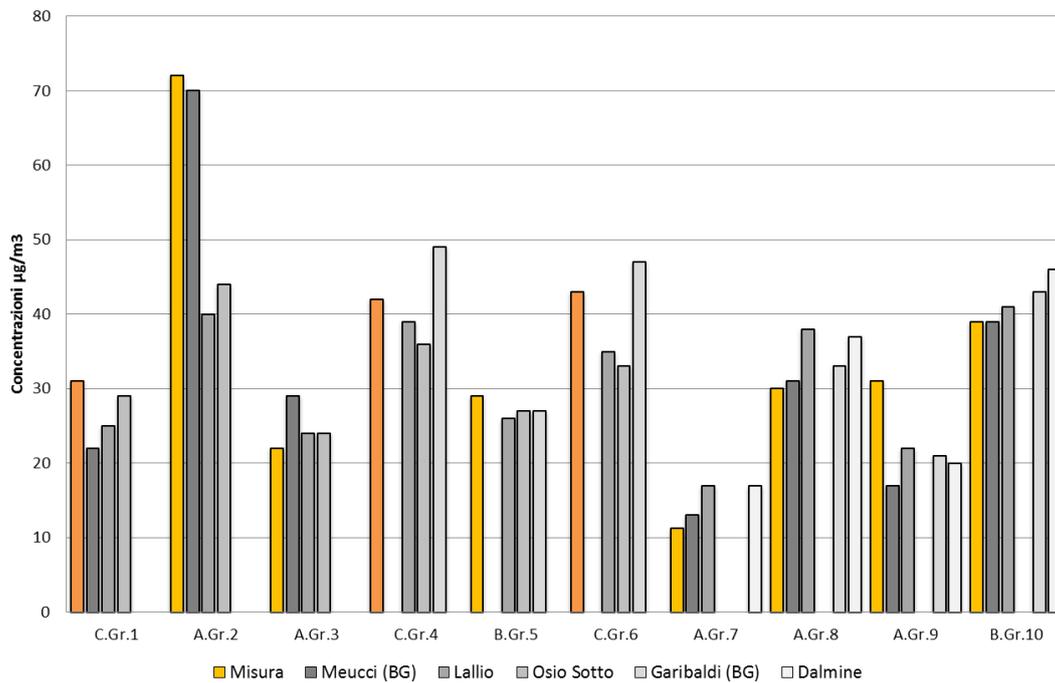


Figura 2-10 Grassobbio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore medio nel periodo di misura

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

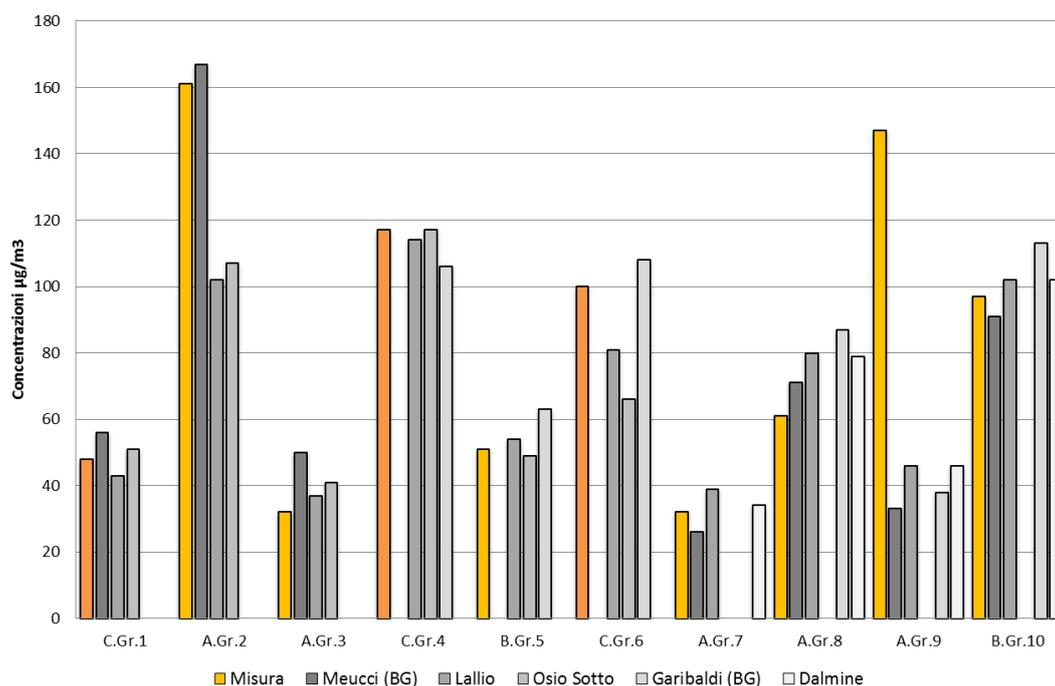


Figura 2-11 Grassobbio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore massimo nel periodo di misura

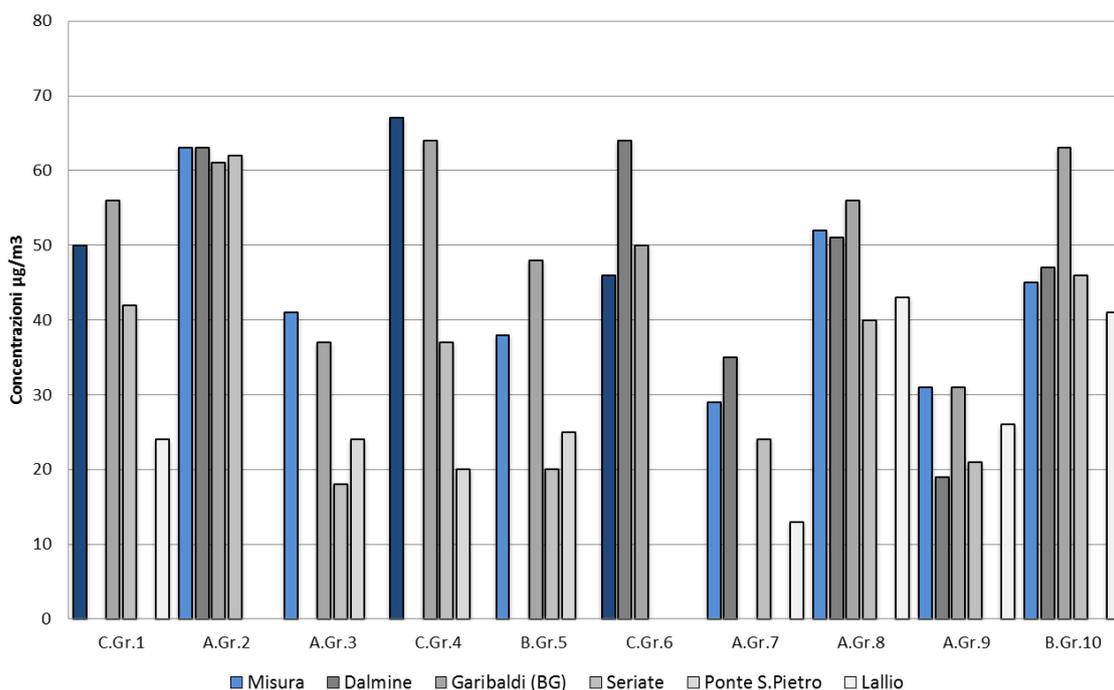


Figura 2-12 Grassobbio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore medio nel periodo di misura

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

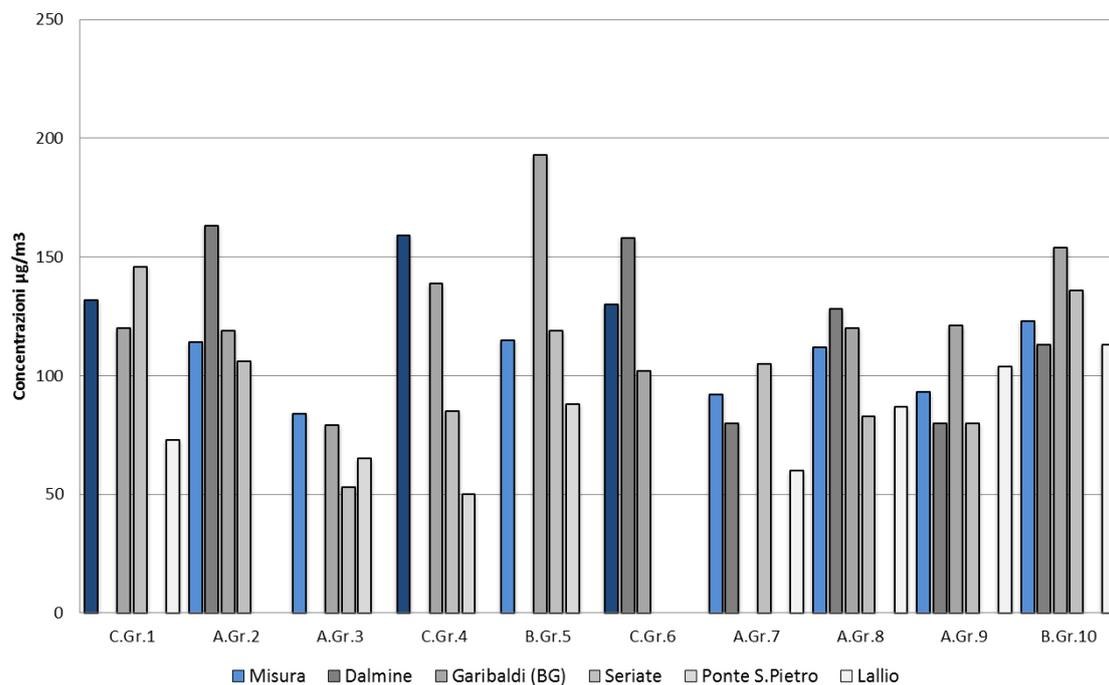


Figura 2-13 Grassobbio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore massimo nel periodo di misura

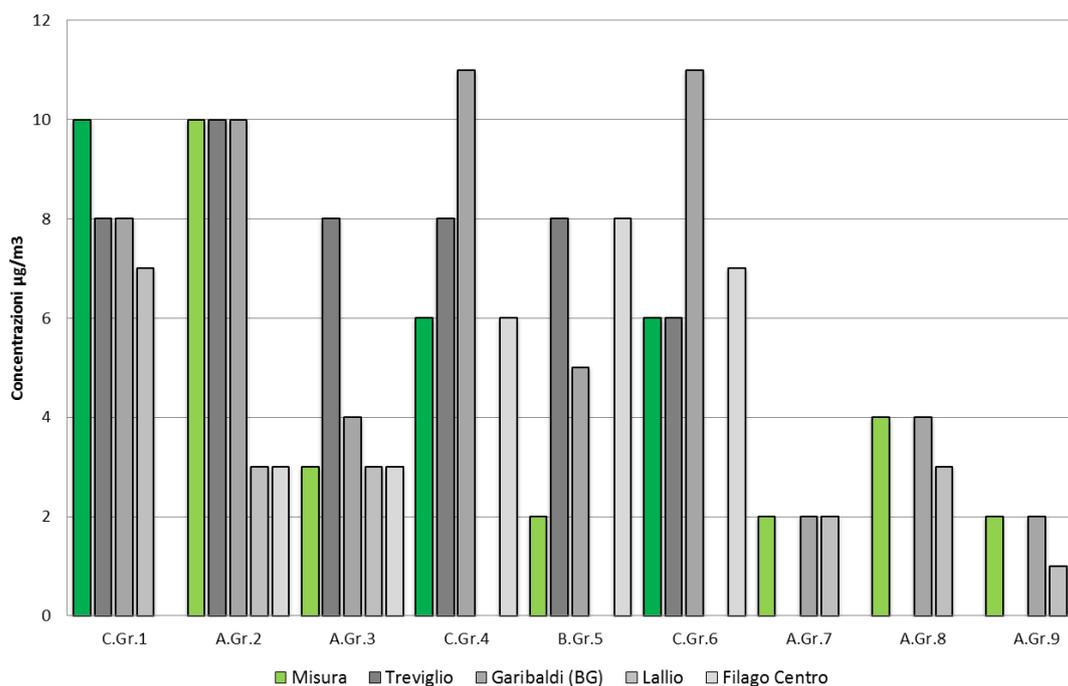


Figura 2-14 Grassobbio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore medio nel periodo di misura

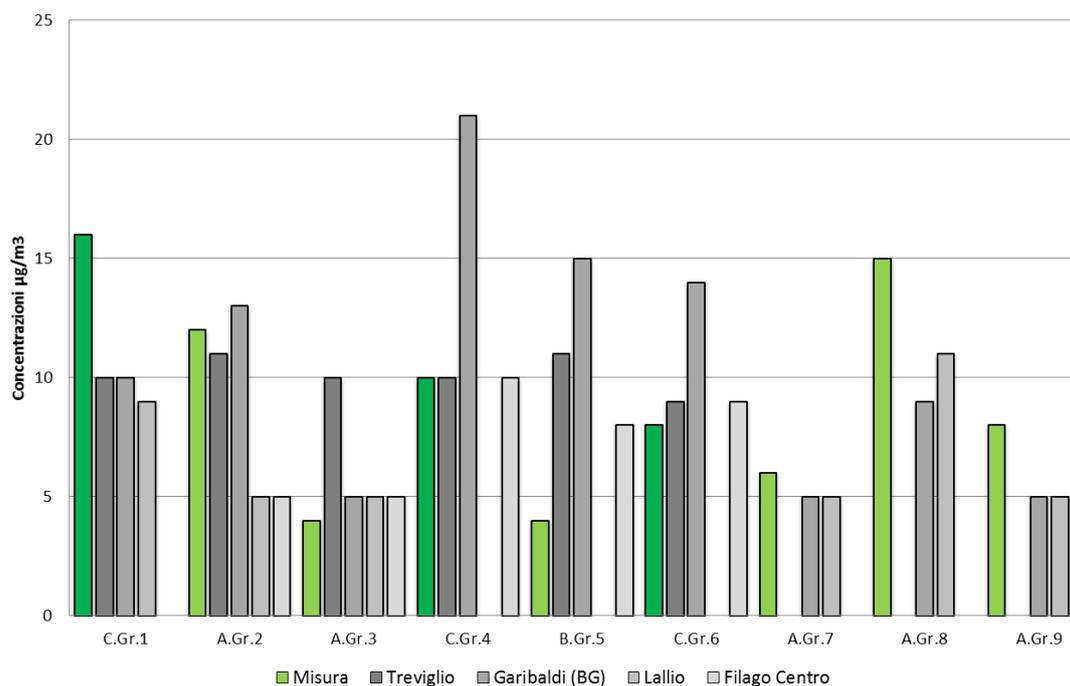


Figura 2-15 Grassobbio - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore massimo nel periodo di misura

### Comune di Azzano San Paolo

Il territorio del Comune di Azzano San Paolo è stato interessato da due campagne di misura, entrambe effettuate nel 2010

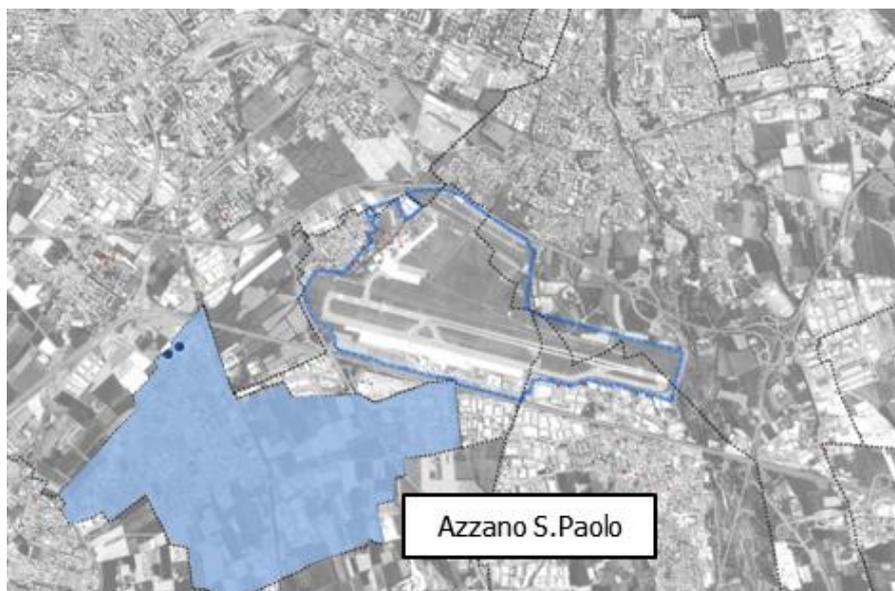


Figura 2-16 Campagne mobili sul territorio comunale di Azzano San Paolo

Le risultanze di tali analisi sono riportate sinteticamente nelle figure seguenti.

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

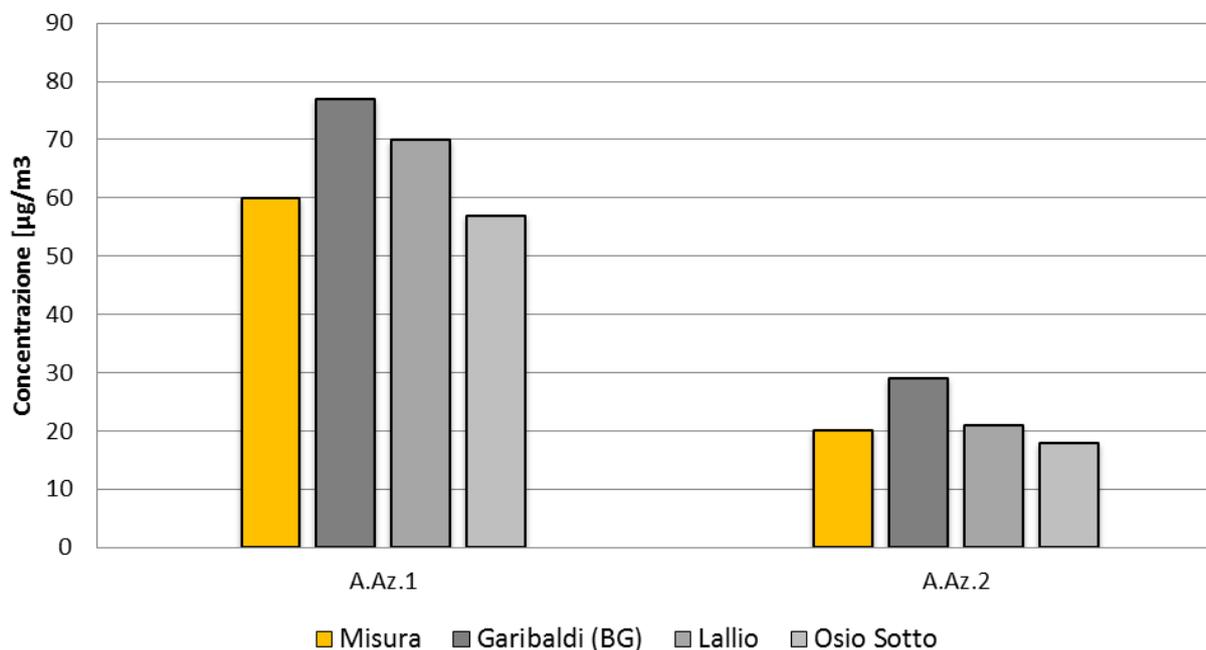


Figura 2-17 Azzano San Paolo - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore medio nel periodo di misura

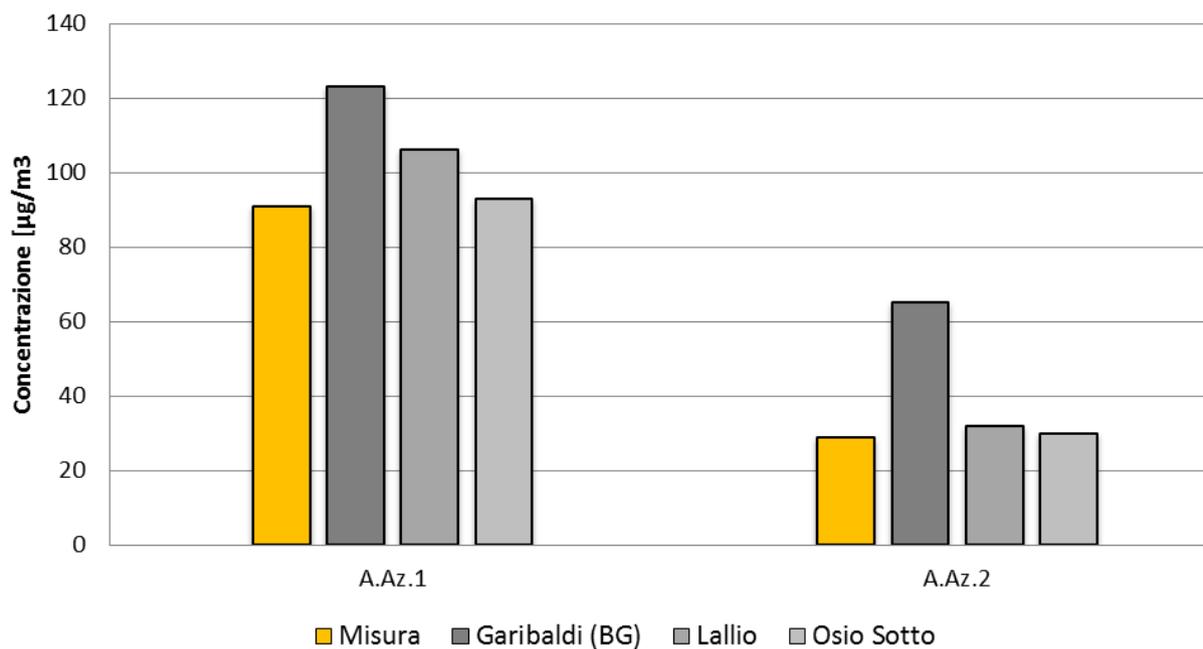


Figura 2-18 Azzano San Paolo - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore massimo nel periodo di misura

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

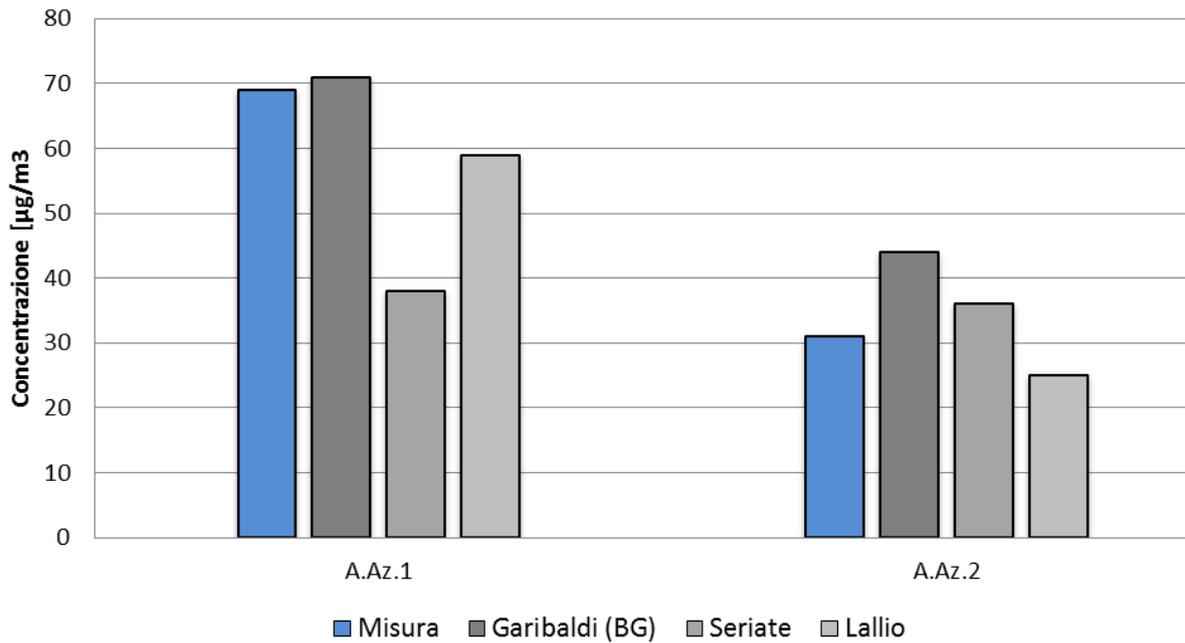


Figura 2-19 Azzano San Paolo - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore medio nel periodo di misura

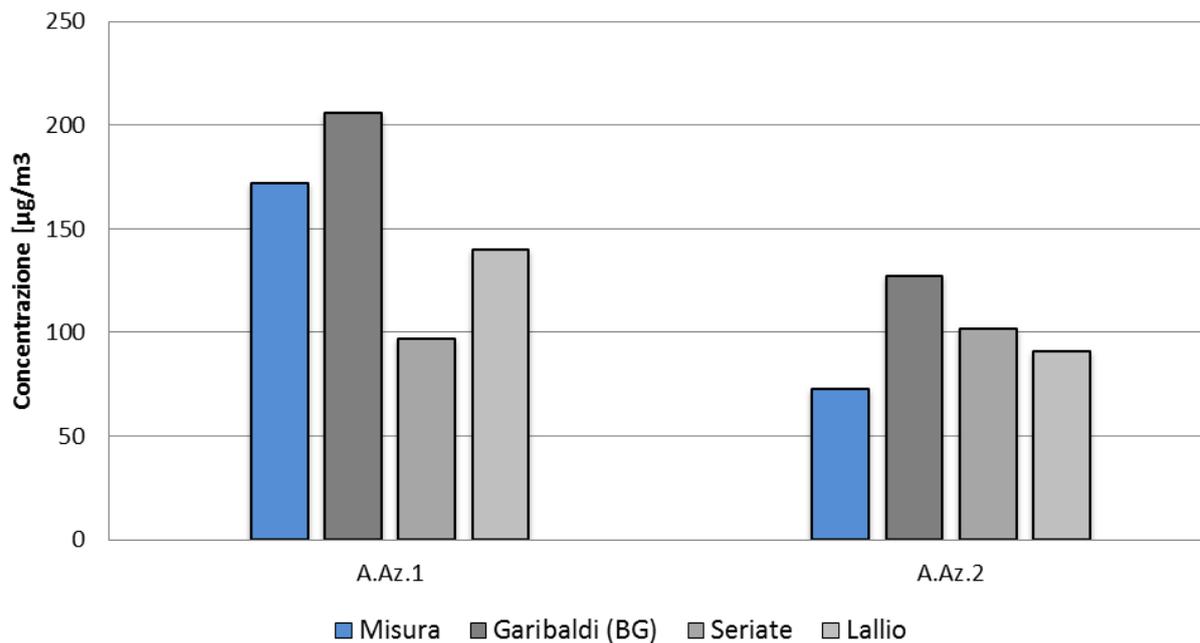


Figura 2-20 Azzano San Paolo - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore massimo nel periodo di misura

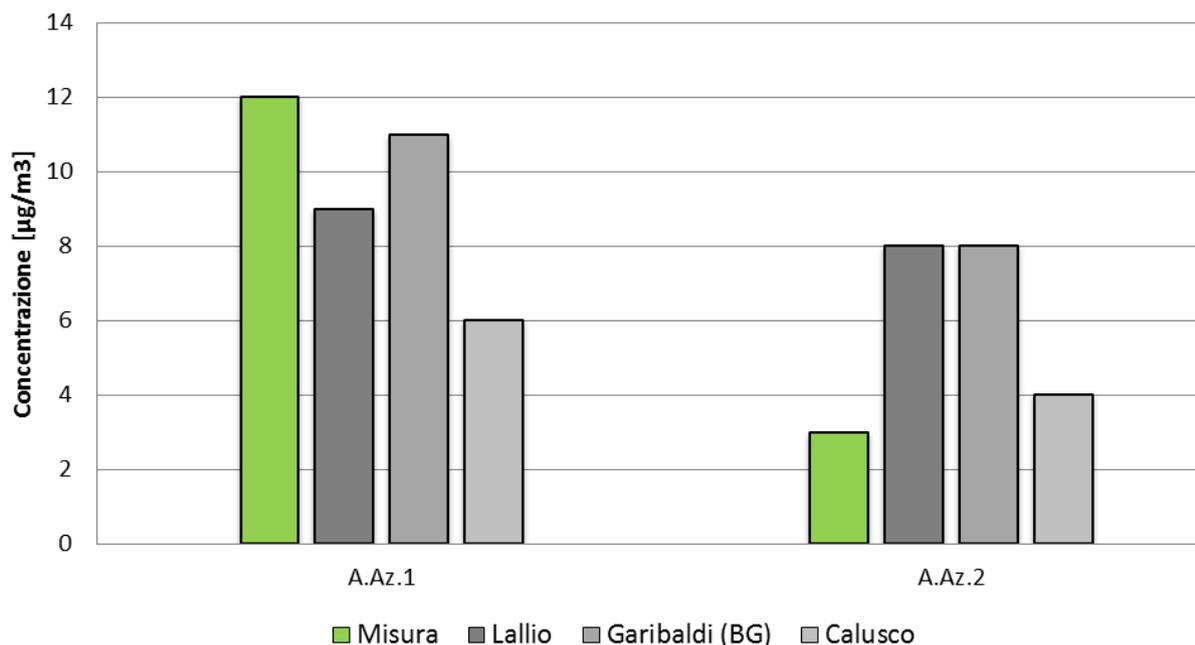


Figura 2-21 Azzano San Paolo - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore medio nel periodo di misura

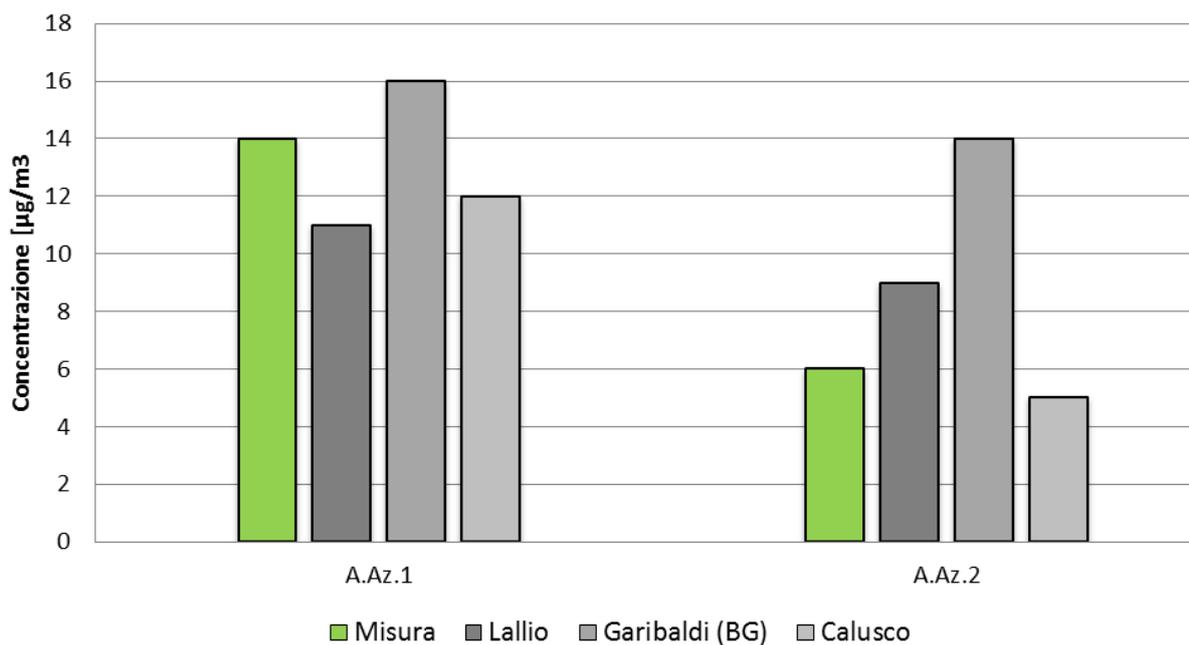


Figura 2-22 Azzano San Paolo - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore massimo nel periodo di misura

### Comune di Bergamo località Colognola

Il territorio del Comune di Bergamo nella località Colognola è stato interessato da 4 campagne condotte negli anni 2010, 2011 e 2012.

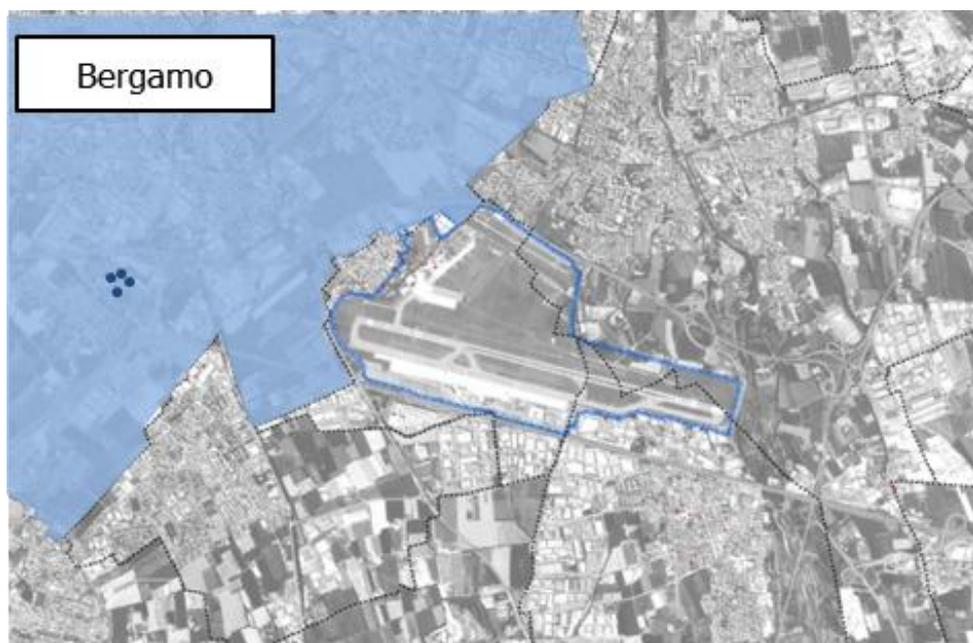


Figura 2-23 Campagne mobili sul territorio comunale di Bergamo località Colognola

Le risultanze di tali analisi sono riportate sinteticamente nelle figure seguenti.

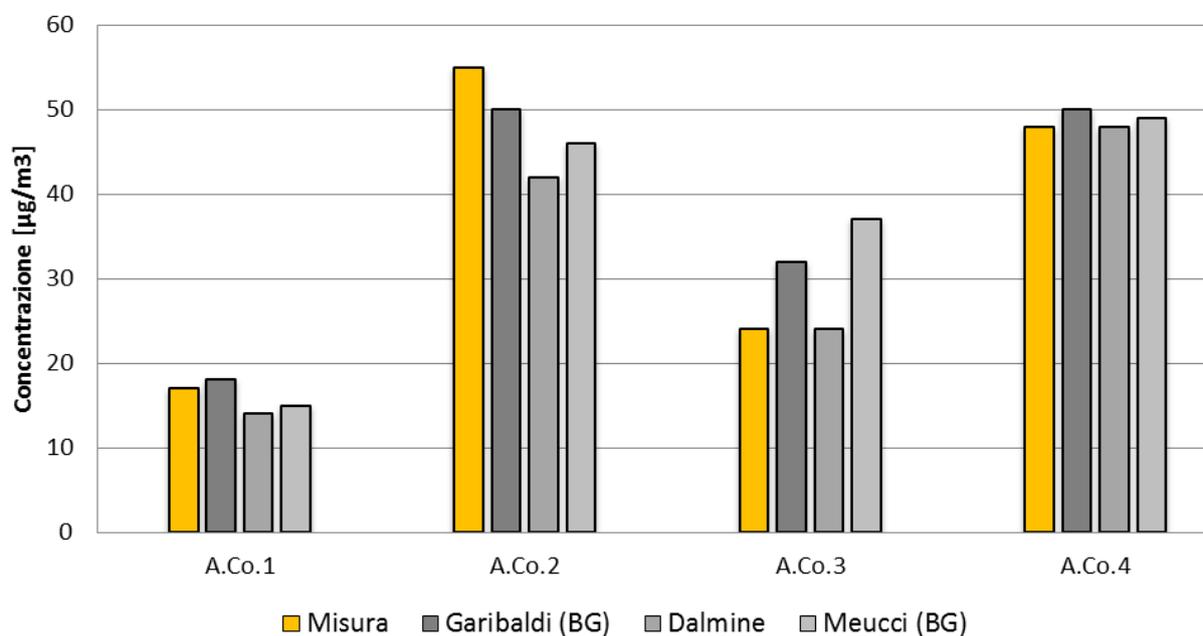


Figura 2-24 Bergamo Colognola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore medio nel periodo di misura

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

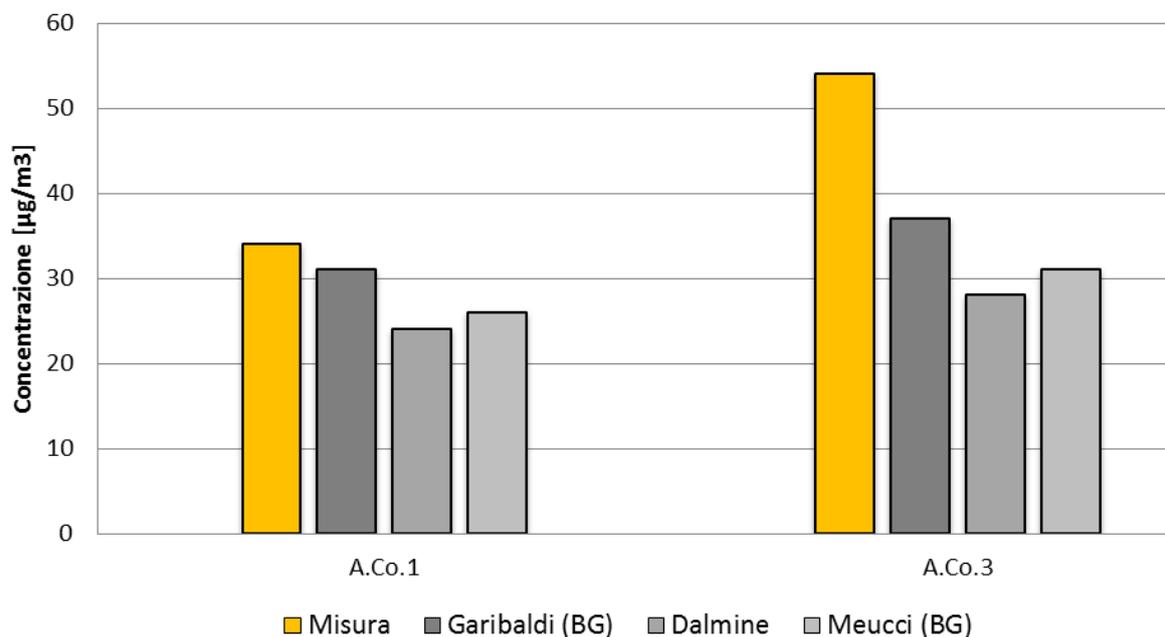


Figura 2-25 Bergamo Colognola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore massimo nel periodo di misura

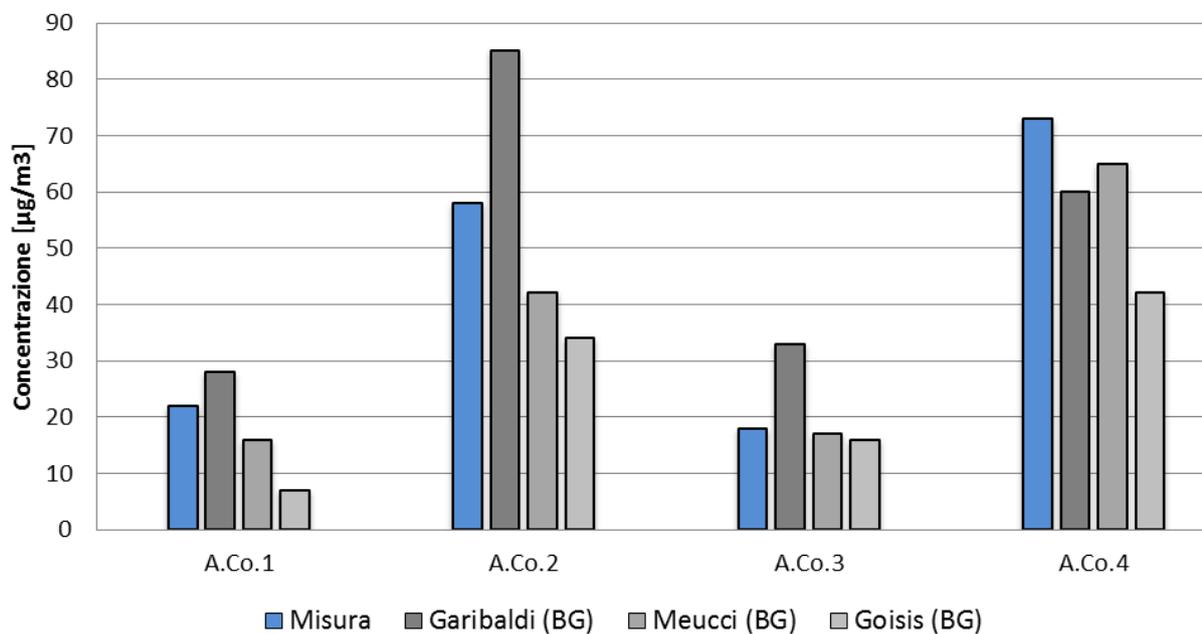


Figura 2-26 Bergamo Colognola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore medio nel periodo di misura

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

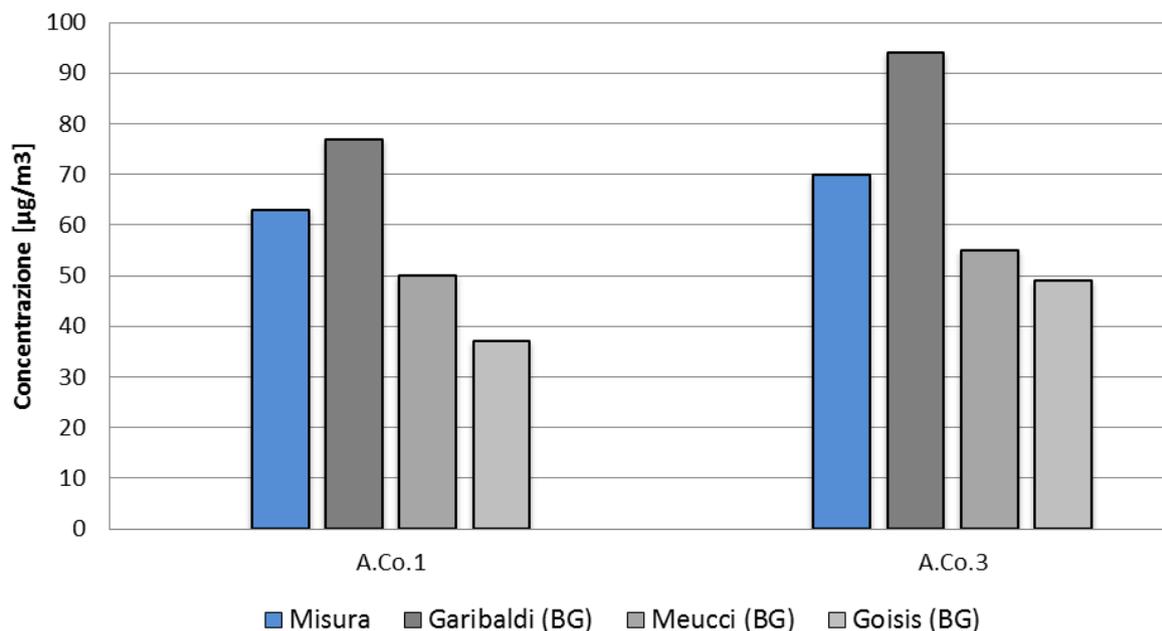


Figura 2-27 Bergamo Colognola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore massimo nel periodo di misura

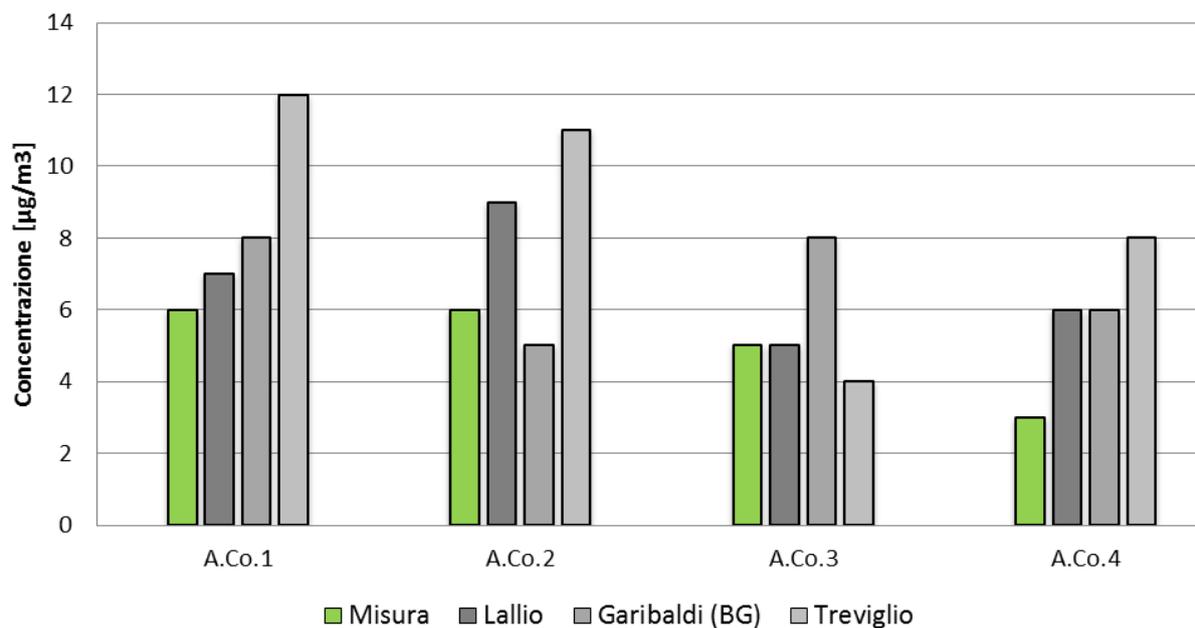


Figura 2-28 Bergamo Colognola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore medio nel periodo di misura

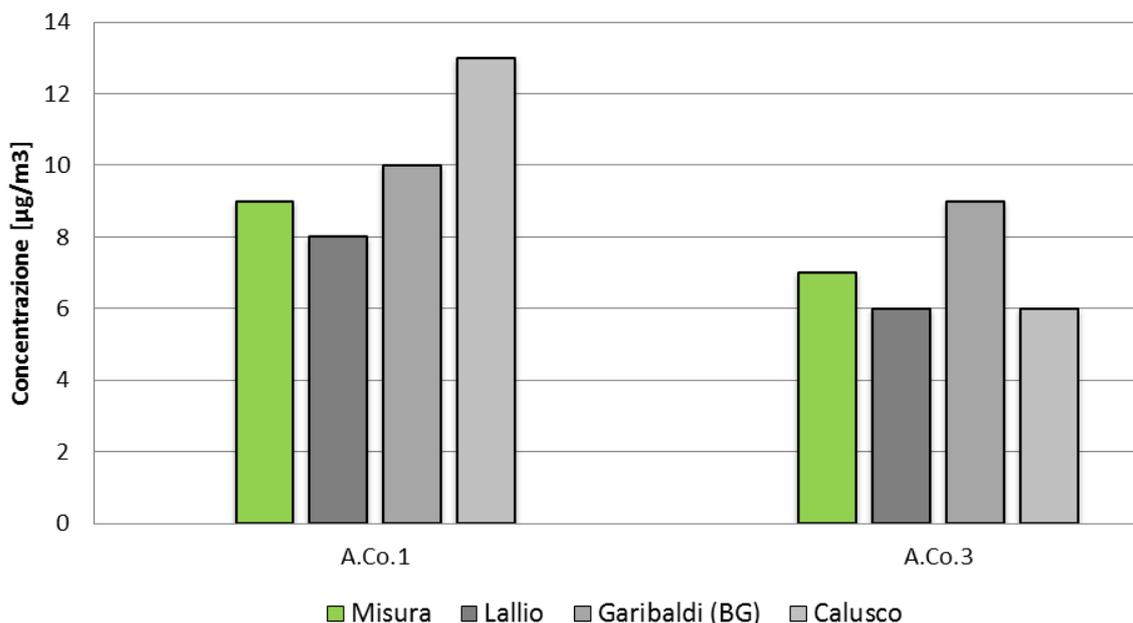


Figura 2-29 Bergamo Colognola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore massimo nel periodo di misura

#### Comune di Bergamo località Campagnola

Il comune di Bergamo è stato inoltre oggetto di altre campagne in località differenti, come nel caso di specie per la località Campagnola. In tale area sono state condotte due campagne di rilievi, rispettivamente nel 2010 e nel 2011.

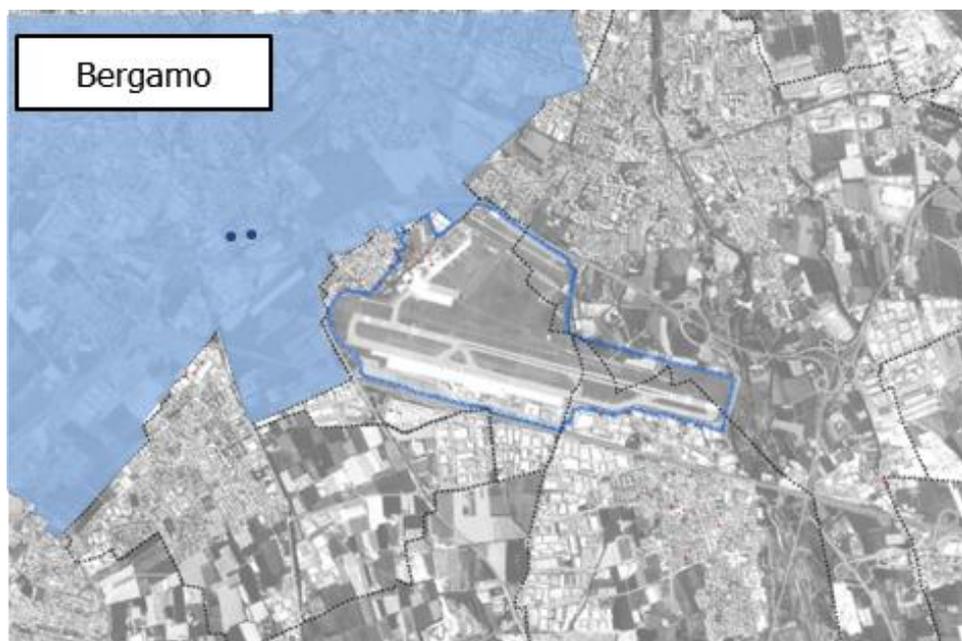


Figura 2-30 Campagne mobili sul territorio comunale di Bergamo località Campagnola

Le risultanze di tali analisi sono riportate sinteticamente nelle figure seguenti.

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

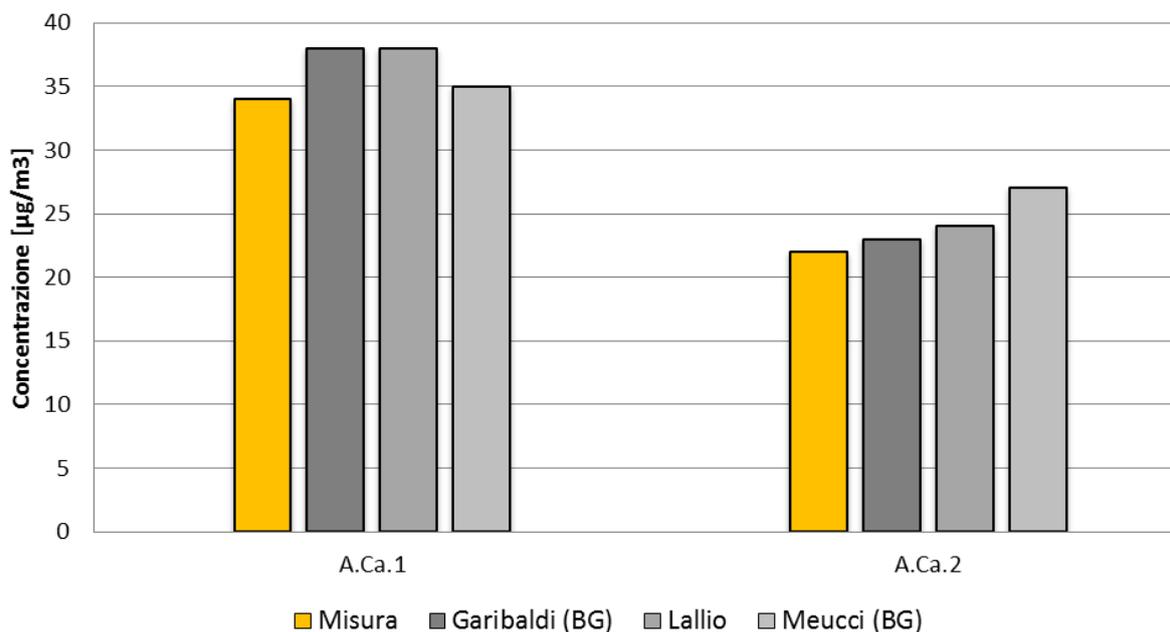


Figura 2-31 Bergamo Campagnola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore medio nel periodo di misura

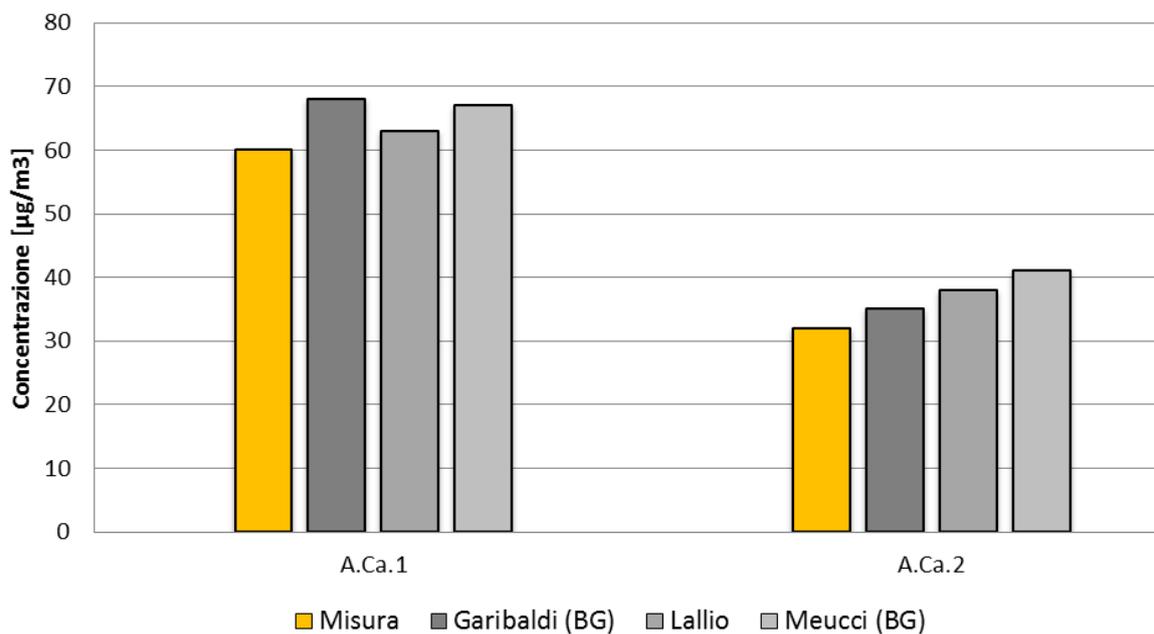


Figura 2-32 Bergamo Campagnola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore massimo nel periodo di misura

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

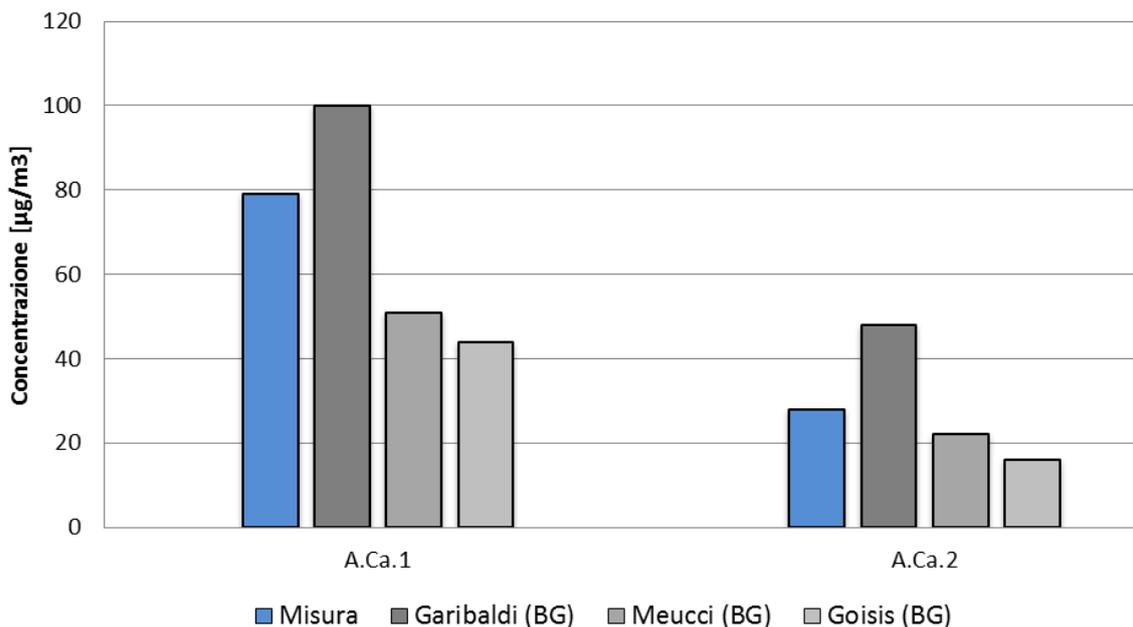


Figura 2-33 Bergamo Campagnola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore medio nel periodo di misura

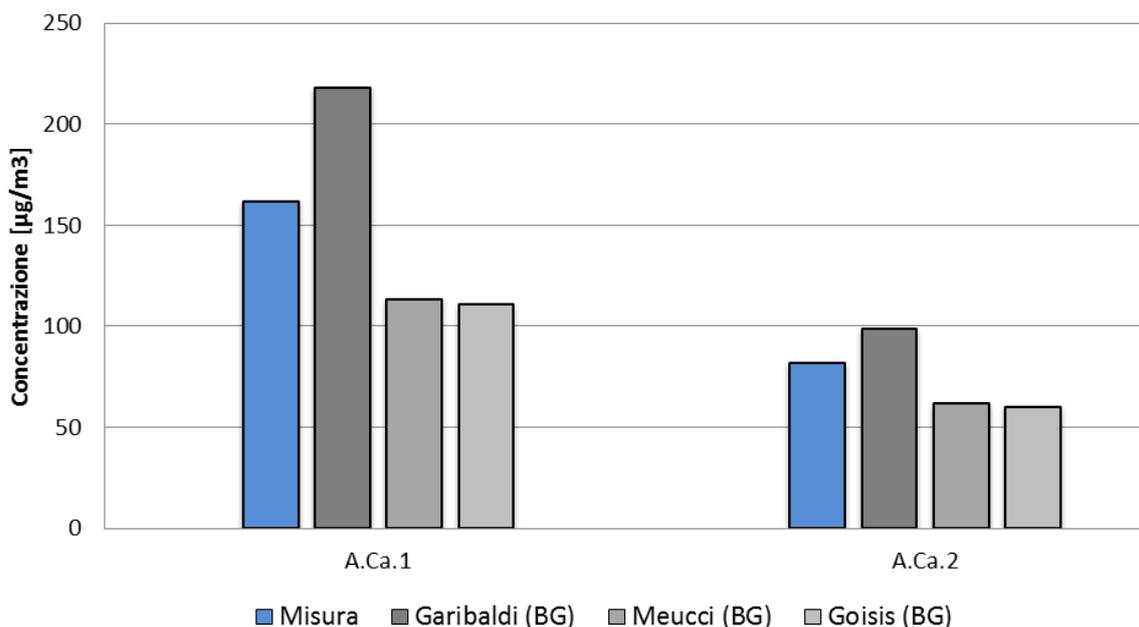


Figura 2-34 Bergamo Campagnola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore massimo nel periodo di misura

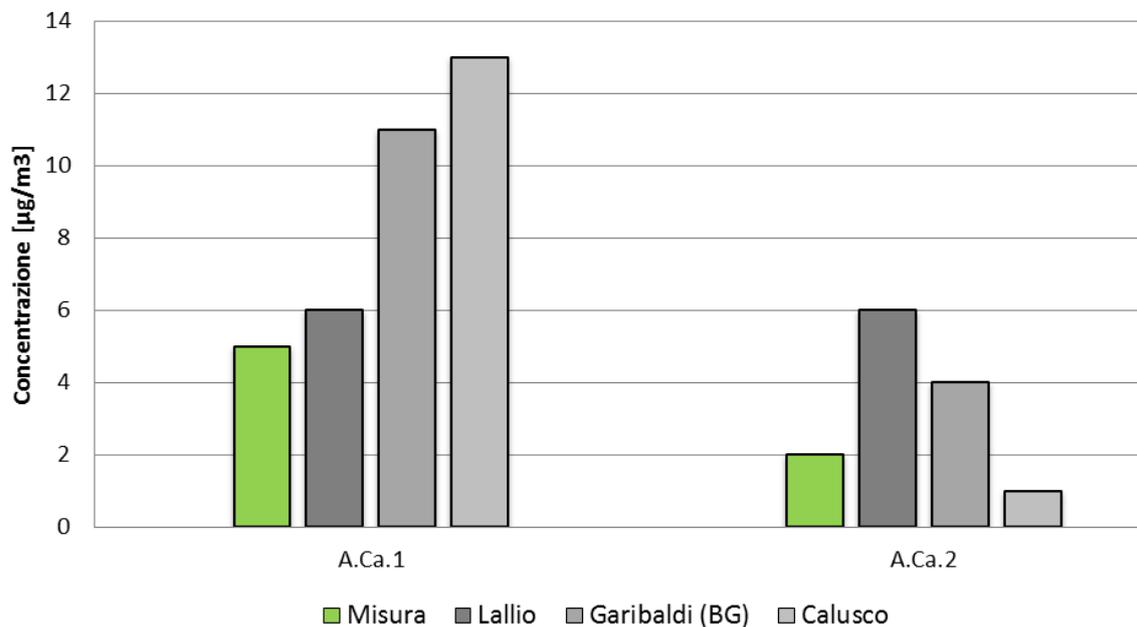


Figura 2-35 Bergamo Campagnola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore medio nel periodo di misura

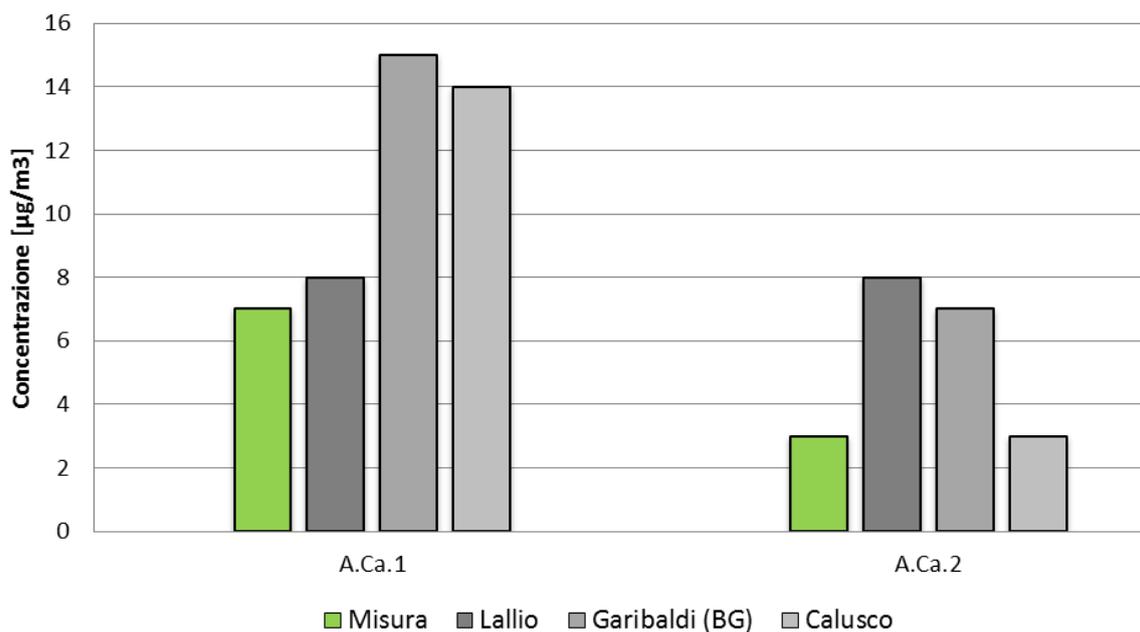


Figura 2-36 Bergamo Campagnola - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore massimo nel periodo di misura

### Comune di Seriate

Il territorio del Comune di Seriate è stato interessato da tre campagne di misura effettuate negli anni 2007 e 2011.

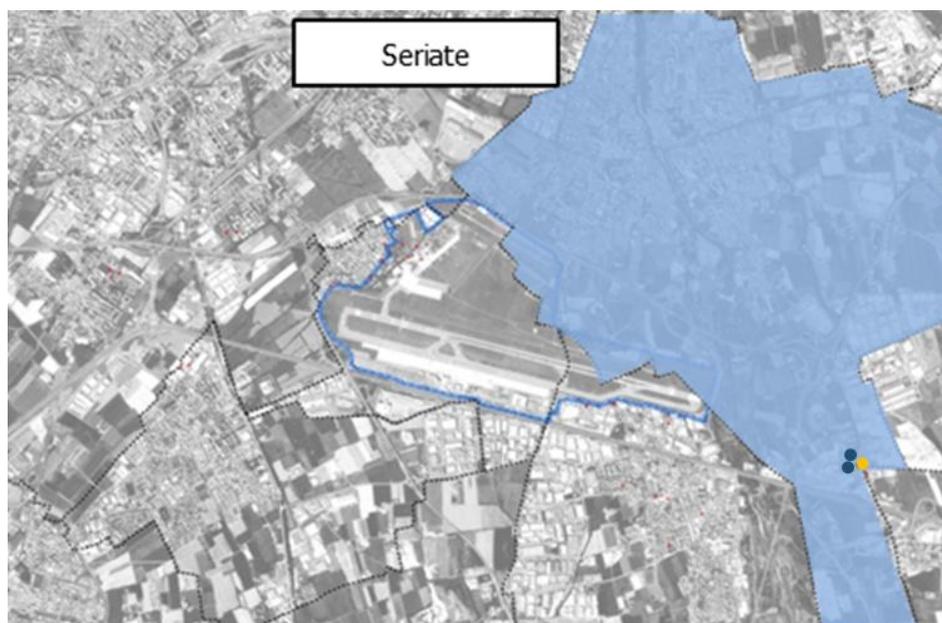


Figura 2-37 Campagne mobili sul territorio comunale di Seriate

Le risultanze di tali analisi sono riportate sinteticamente nelle figure seguenti.

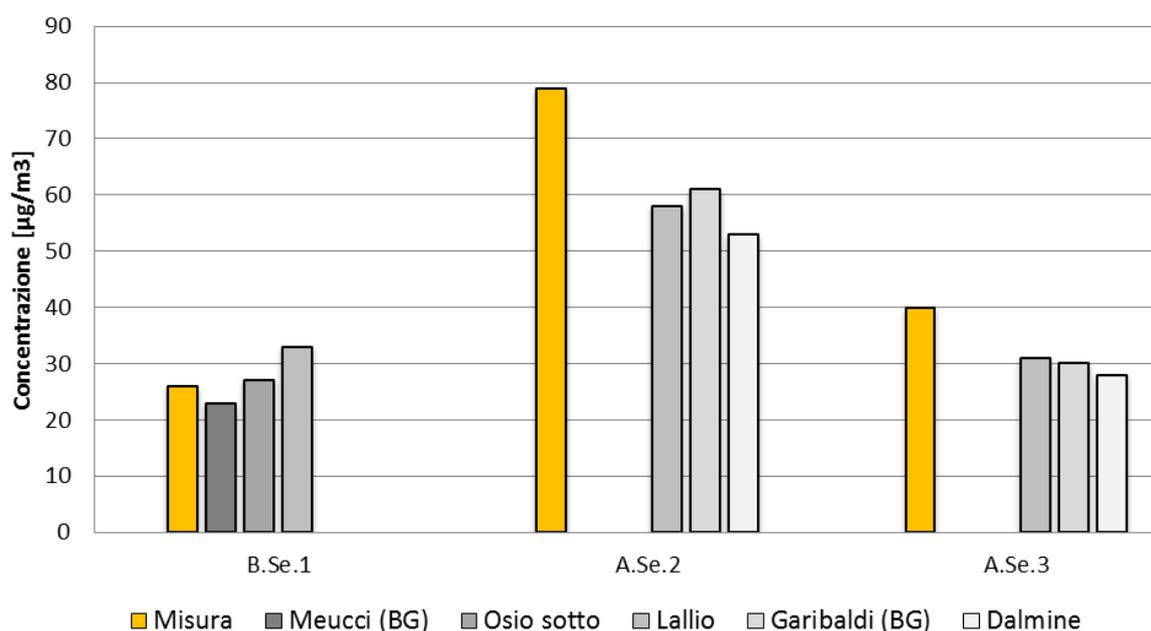


Figura 2-38 Seriate- Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore medio nel periodo di misura

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

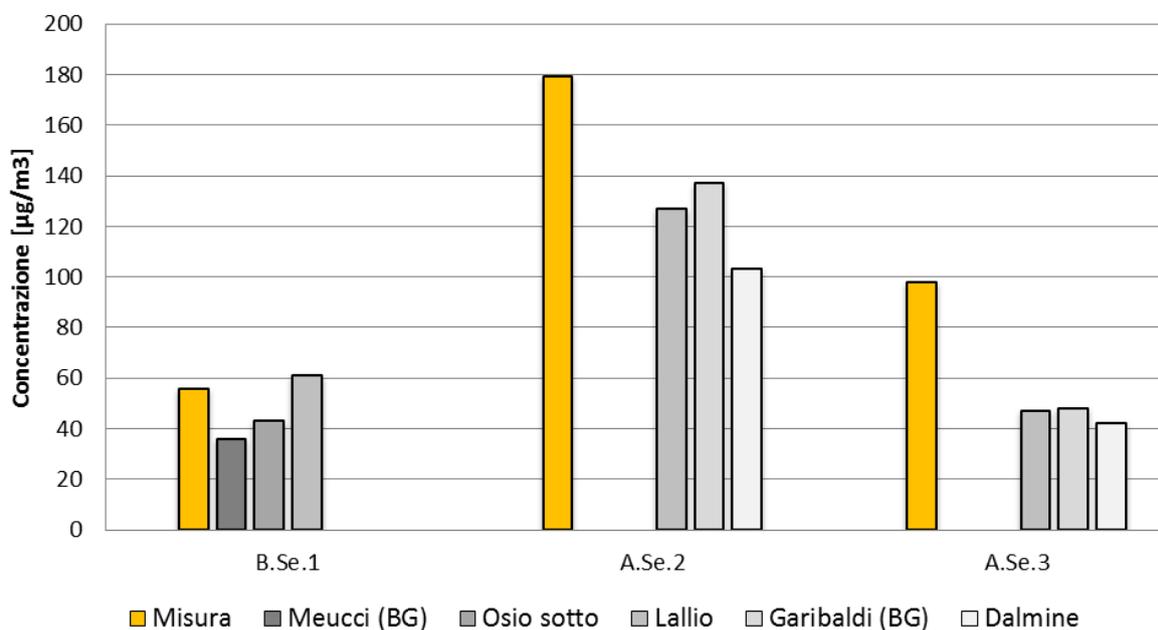


Figura 2-39 Seriate- Confronto risultati campagna mobile ARPA - PM10 valore massimo nel periodo di misura

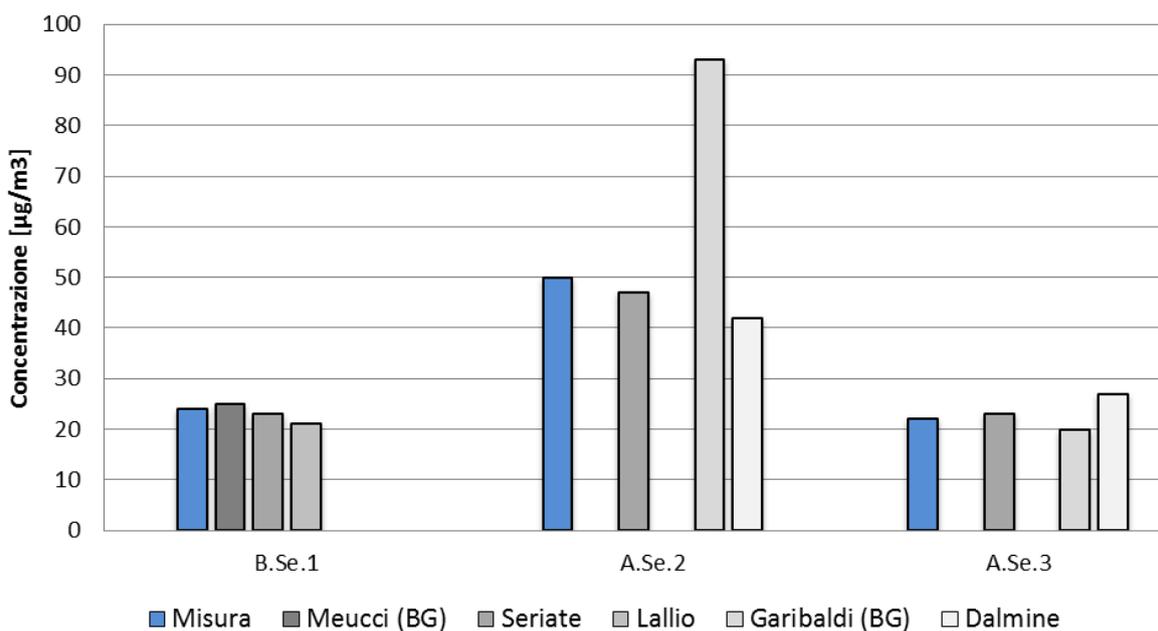


Figura 2-40 Seriate- Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore medio nel periodo di misura

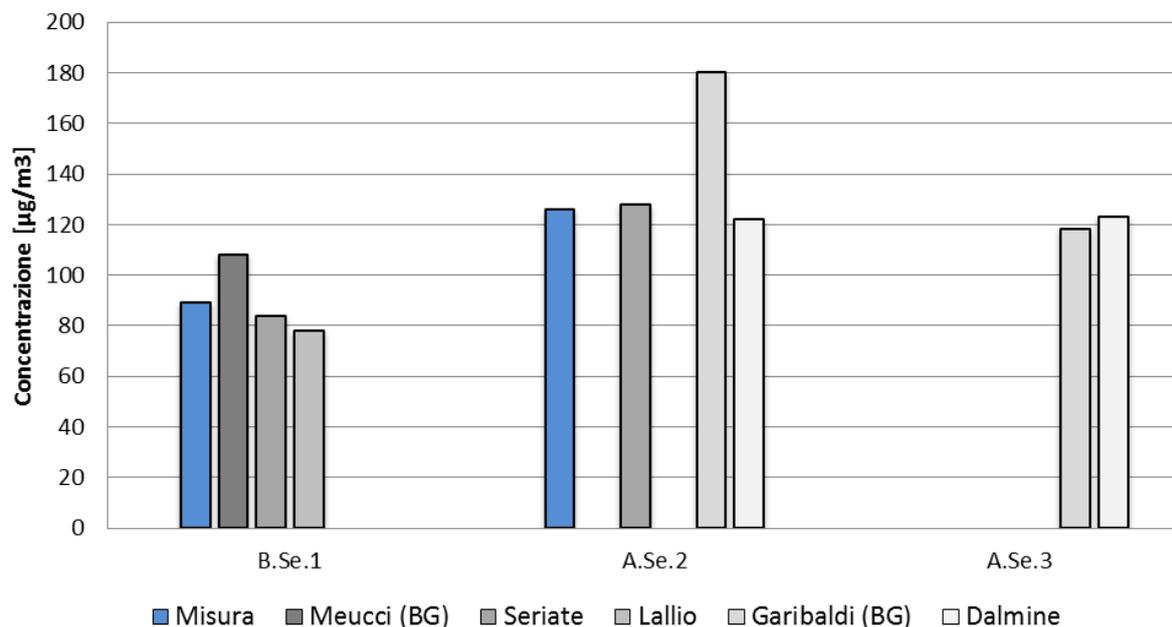


Figura 2-41 Seriate- Confronto risultati campagna mobile ARPA - NO2 valore massimo nel periodo di misura

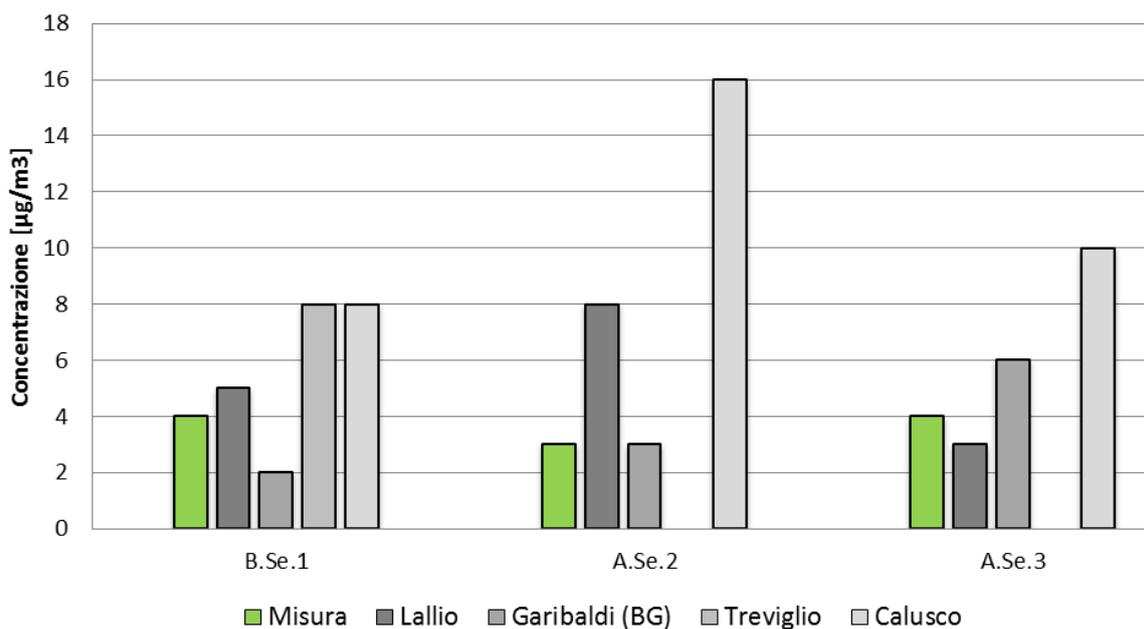


Figura 2-42 Seriate- Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore medio nel periodo di misura

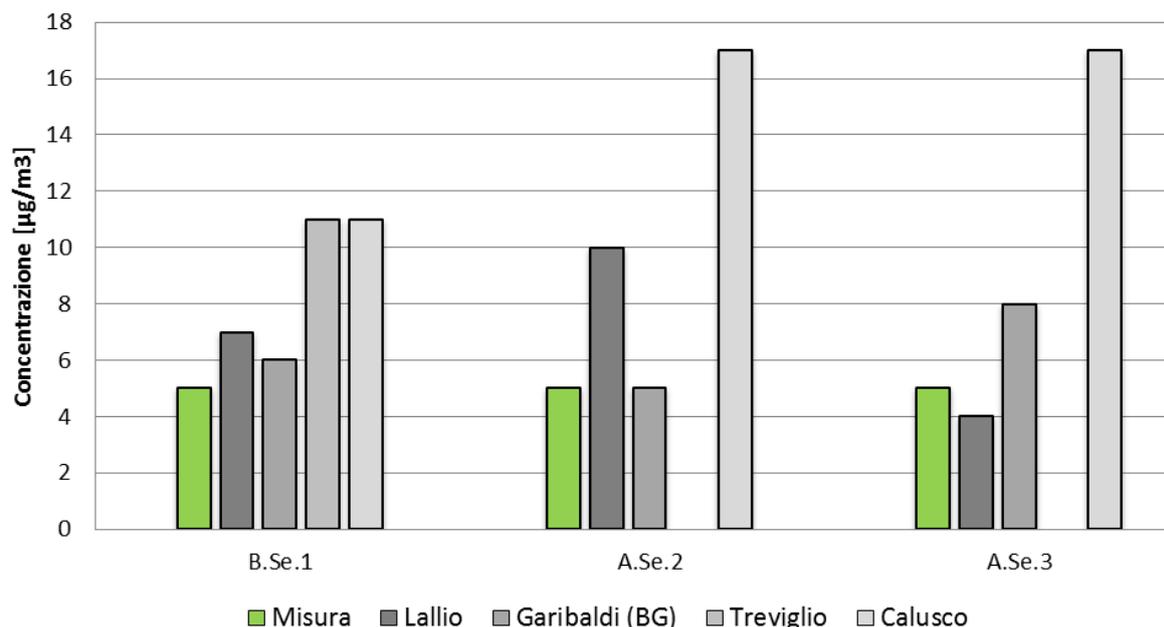


Figura 2-43 Seriate - Confronto risultati campagna mobile ARPA - SO2 valore massimo nel periodo di misura

### 2.3 Conclusioni delle risultanze delle campagne di misura

Il confronto tra le risultanze emerse dalle campagne mobili e quelle delle centraline fisse, secondo quanto riportato dalla stessa ARPA Lombardia nei report delle campagne di misura, evidenzia «una sostanziale uniformità dell'inquinamento atmosferico locale rispetto a quanto osservato in altre postazioni della rete di monitoraggio della qualità dell'aria regionale».

In buona sostanza, come rilevato da ARPA Lombardia sulla scorta dei confronti sistematicamente operati con le altre stazioni fisse del bergamasco per ciascuna sostanza, i valori ottenuti non evidenziano alcuna situazione sito-specifica e, pertanto, anche quei valori che sono risultati non rispondenti ai limiti normativi sono allineati con quelli ottenuti nell'area di Bergamo, circostanza quest'ultima che trova riscontro nella classificazione di parte di detta area come "Agglomerato".

Tali considerazioni valgono anche per il PM10, l'unica tra le sostanze rilevate i cui valori presentano una netta stagionalità, con criticità che quindi non sono proprie del sito di monitoraggio, ma di una vasta area della Pianura Padana.

Si specifica, inoltre, come in alcune campagne di monitoraggio siano stati rilevati, oltre ai principali inquinanti (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, O<sub>3</sub>) anche altri parametri inquinanti, quali i BTX (Benzene, Tuolene, Xilene) ed in casi specifici i metalli pesanti (Arsenico, Cadmio, Nichel, Piombo) e gli IPA (benzo(a)pirene). Dai report annuali di ARPA Lombardia emerge come, anche in questo caso, i valori registrati per tali parametri risultano essere in linea con quelli registrati sulle altre centraline fisse circostanti. Risulta evidente, quindi, come tali valori non siano frutto dell'inquinamento

Allegato SIA.A04 – Aria e clima: dati conoscitivi e specifiche dei modelli di simulazione

generato dalle sorgenti aeroportuali, ma da tutte le sorgenti dell'area territoriale in cui sono inserite.

Al fine di evidenziare meglio quanto finora detto, è stato riportato di seguito il confronto tra i dati rilevati nelle postazioni mobili, presso Grassobbio ed Orio al Serio, nell'inverno tra il 2014 e 2015 e quelli della centralina fissa di Bergamo Meucci nell'analogo periodo di misura, con riferimento agli inquinanti PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> e CO. Tale confronto risulta di particolare interesse in quanto quella in questione costituisce l'ultima campagne mobile disponibile ed effettuata nello stesso periodo per entrambe le stazioni mobili.

Il confronto è riportato nelle figure sottostanti.

PM<sub>10</sub> - Media giornaliera 23/12/2014-07/03/2015

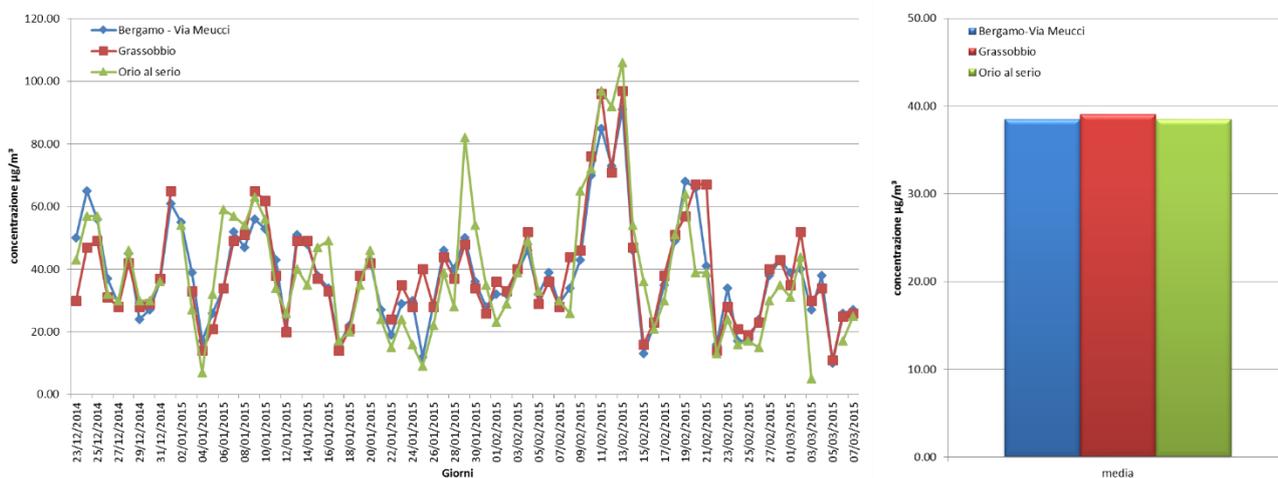


Figura 2-44 Concentrazioni di PM<sub>10</sub> per le tre centraline

NO<sub>2</sub> - Media giornaliera 23/12/2014-07/03/2015

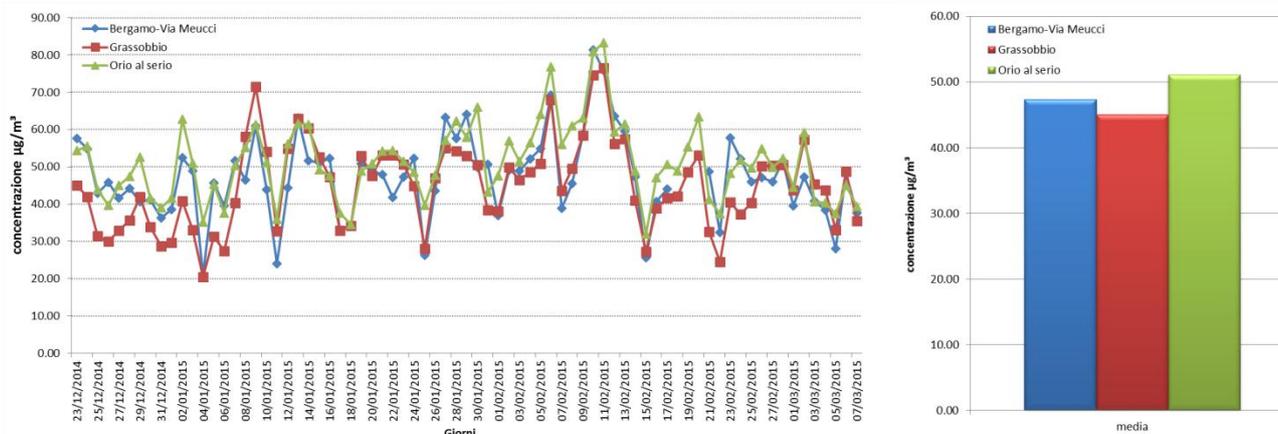


Figura 2-45 Concentrazioni di NO<sub>2</sub> per le tre centraline

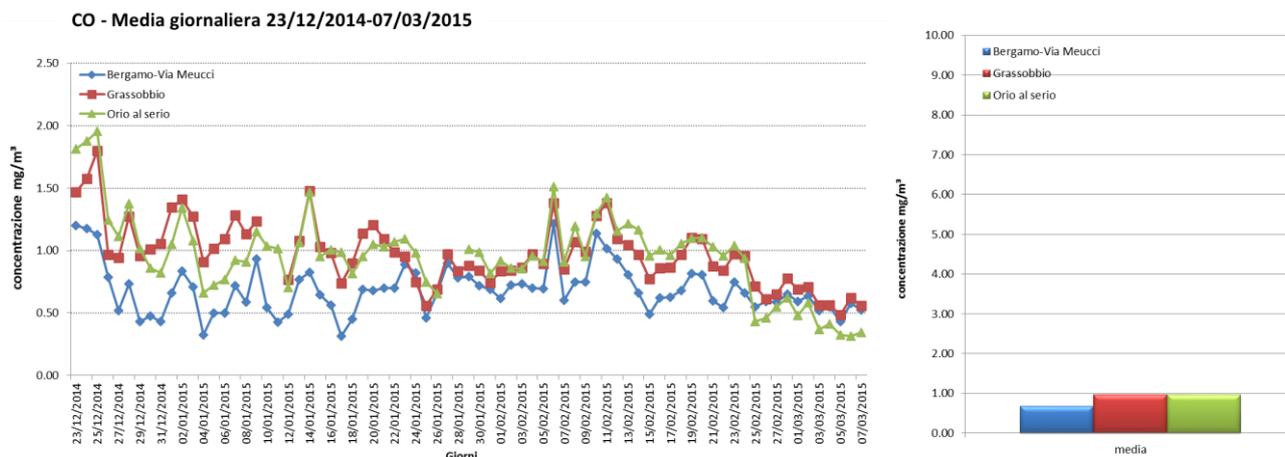


Figura 2-46 Concentrazioni di CO per le tre centraline

Dal confronto dei dati registrati durante le 2 campagne mobili invernali del 2014-2015 (B.Gr.10 e B.Or.9) emerge che:

- in coerenza con quanto già affermato in merito alla assenza di una specificità dell'intorno aeroportuale, le postazioni di Grassobbio ed Orio al Serio presentano valori a volte poco superiori, a volte poco inferiori a quelli di Bergamo Meucci che, si ricorda, è classificata nella rete regionale come urbana fondo. In linea generale, quindi, le tre stazioni risultano pressoché omogenee.
- Tra le due stazioni mobili non c'è prevalenza di una rispetto all'altra, infatti per il PM10 si registrano valori maggiori nella centralina di Grassobbio, per l'NO2 in quella di Orio de Serio e per il CO i valori risultano pressoché uguali tra loro.

Inoltre, si è fatto riferimento ad una campagne di monitoraggio, riportata per la sua singolarità, che è quella effettuata da ARPA, da maggio a luglio 2014, nei comuni di Orio al Serio e Grassobbio, la quale ha consentito una caratterizzazione generale della qualità dell'aria dell'area nel periodo prima, durante e dopo le attività di manutenzione delle piste dell'aeroporto "Caravaggio".

Questo ha permesso quindi di caratterizzare la qualità dell'aria anche in assenza dell'operatività aeroportuale.

Di seguito si riportano le conclusioni dello studio condotto da ARPA: *"Non si osservano particolari criticità per SO2, CO, benzene, m+p xileni e naftalene sia a Grassobbio che a Orio al Serio, nel periodo delle attività manutentive (13 maggio – 2 giugno), ma anche nel resto della campagna di monitoraggio. Il confronto con le centraline della qualità dell'aria della provincia di Bergamo ha confermato quanto sopra.*

... omissis...

*Per le concentrazioni di NO<sub>2</sub> non emerge un effetto significativo delle attività di manutenzione dell'aeroporto, a causa della natura quasi esclusivamente secondaria dell'NO<sub>2</sub>, le cui concentrazioni sono regolate prevalentemente dalle condizioni meteorologiche. Nel resto della campagna i valori sono confrontabili con quelli delle centraline della qualità dell'aria. Non sono stati misurati superamenti dei limiti di legge sull'intero periodo di misura.*

*...omissis...*

*L'analisi delle concentrazioni giornaliere di PM<sub>10</sub> evidenzia che durante il periodo di manutenzione delle piste dell'aeroporto e quindi della sospensione dei voli, le concentrazioni di polveri misurate a Grassobbio sono state decisamente elevate, non confrontabili con quelle di Orio al Serio e di tutti gli altri siti presi a confronto. La media di PM<sub>10</sub> in questo periodo è pari a 62 mg/m<sup>3</sup> a Grassobbio e 23 mg/m<sup>3</sup> a Orio al Serio. In entrambi i siti, in questo periodo, rileviamo superamenti del limite di protezione per la salute umana.*

*...omissis...*

*Tutte le elaborazioni effettuate sull'insieme dei dati raccolti non hanno messo in evidenza aumenti significativi delle concentrazioni degli inquinanti considerati direttamente o indirettamente connessi alle emissioni legate alle attività aeroportuali"*

### **3 CARATTERISTICHE ED EFFETTI DEGLI INQUINANTI DI INTERESSE**

#### **3.1 Concentrazioni Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub> ed NO<sub>2</sub>)**

##### **3.1.1 Le caratteristiche**

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO<sub>x</sub> che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO<sub>2</sub>).

Durante le combustioni l'azoto molecolare (N<sub>2</sub>) presente nell'aria, che brucia insieme al combustibile, si ossida a monossido di azoto (NO). Nell'ambiente esterno il monossido si ossida a biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), che è quindi un inquinante secondario, perché non emesso direttamente. Il biossido di azoto è "ubiquitario": si ritrova in atmosfera un po' ovunque, con concentrazioni abbastanza costanti.

L'ossido di azoto (NO), anche chiamato ossido nitrico, è un gas incolore, insapore ed inodore con una tossicità limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole. Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante; il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto all'elevata presenza di questo gas. Il biossido di azoto svolge un ruolo

fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi tra cui l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso e gli alchilnitrati.

Da notare che gli NO<sub>x</sub> vengono per lo più emessi da sorgenti al suolo e sono solo parzialmente solubili in acqua, questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

### **3.1.2 Effetti sull'uomo**

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente blanda; a causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante, in quanto risulta molto più tossico del monossido. Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni delle funzioni polmonari, di bronchiti croniche, di asma ed di enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica diminuzione delle difese polmonari con conseguente aumento di rischio di affezioni alle vie respiratorie soprattutto in soggetti bronchitici ed asmatici, negli anziani e nei bambini.

### **3.1.3 Effetti sull'ambiente**

L'inquinamento da biossido di azoto ha un impatto sulla vegetazione di minore entità rispetto al biossido di zolfo. In alcuni casi, brevi periodi di esposizione a basse concentrazioni possono incrementare i livelli di clorofilla, lunghi periodi causano invece la senescenza e la caduta delle foglie più giovani. Il meccanismo principale di aggressione comunque è costituito dall'acidificazione del suolo: gli inquinanti acidi causano un impoverimento del terreno per la perdita di ioni calcio, magnesio, sodio e potassio e conducono alla liberazione di ioni metallici tossici per le piante. Da notare che l'abbassamento del pH compromette anche molti processi microbici del terreno fra cui l'azotofissazione.

Si stima inoltre che gli ossidi di azoto e i loro derivati contribuiscano per il 30% alla formazione delle piogge acide, danneggiando anche edifici e monumenti e provocandone un invecchiamento accelerato in molti casi irreversibile.

## **3.2 Concentrazioni Polveri (PM10 e PM2.5)**

### **3.2.1 Le caratteristiche**

Spesso il particolato rappresenta l'inquinante a maggiore impatto ambientale nelle aree urbane, tanto da indurre le autorità competenti a disporre dei blocchi del traffico per ridurre il fenomeno. Le particelle sospese, anche indicate come PM (Particulate Matter), sono sostanze allo stato solido o liquido che, a causa delle loro piccole dimensioni, restano sospese in atmosfera per tempi più o meno lunghi.

Il particolato nell'aria può essere costituito da diverse sostanze: sabbia, ceneri, polveri, fuliggine, sostanze silicee di varia natura, sostanze vegetali, composti metallici, fibre tessili naturali e artificiali, sali, elementi come il carbonio o il piombo, ecc.

In base alla natura e alle dimensioni delle particelle possiamo distinguere:

- gli aerosol, costituiti da particelle solide o liquide sospese in aria e con un diametro inferiore a 1 micron (1  $\mu\text{m}$ );
- le foschie, date da goccioline con diametro inferiore a 2  $\mu\text{m}$ ;
- le esalazioni, costituite da particelle solide con diametro inferiore ad 1  $\mu\text{m}$  e rilasciate solitamente da processi chimici e metallurgici;
- il fumo, dato da particelle solide di solito con diametro inferiore ai 2  $\mu\text{m}$  e trasportate da miscele di gas;
- le polveri, costituite da particelle solide con diametro fra 0,25 e 500  $\mu\text{m}$ ;
- le sabbie, date da particelle solide con diametro superiore ai 500  $\mu\text{m}$ .

Le particelle primarie sono quelle che vengono emesse come tali dalle sorgenti naturali ed antropiche, mentre le secondarie si originano da una serie di reazioni chimiche e fisiche in atmosfera.

Conseguenze diverse si hanno in relazione alla differente grandezza della particella inalata, distinguiamo le particelle fini che sono quelle che hanno un diametro inferiore a 2,5  $\mu\text{m}$ , e le altre dette grossolane. Da notare che il particolato grossolano è costituito esclusivamente da particelle primarie.

Le polveri  $\text{PM}_{10}$  rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 10  $\mu\text{m}$  e vengono anche dette polveri inalabili perché sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe). Una frazione di circa il 60% di queste è costituita dalle polveri  $\text{PM}_{2,5}$  che rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 2,5 micron. Le  $\text{PM}_{2,5}$  sono anche dette polveri respirabili perché possono penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari).

### 3.2.2 Effetti sull'uomo

A prescindere dalla tossicità, le particelle che possono produrre degli effetti indesiderati sull'uomo sono sostanzialmente quelle di dimensioni più ridotte, infatti nel processo della respirazione le particelle maggiori di 15  $\mu\text{m}$  vengono generalmente rimosse dal naso.

Il particolato che si deposita nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (cavità nasali, faringe e laringe) può generare vari effetti irritativi come l'infiammazione e la secchezza del naso e della gola; tutti questi fenomeni sono molto più gravi se le particelle hanno assorbito sostanze acide (come il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, ecc.).

Per la particolare struttura della superficie, le particelle possono anche adsorbire dall'aria sostanze chimiche cancerogene, trascinandole nei tratti respiratori e prolungandone i tempi di residenza, accentuandone gli effetti.

Le particelle più piccole penetrano nel sistema respiratorio a varie profondità e possono trascorrere lunghi periodi di tempo prima che vengano rimosse, per questo sono le più pericolose, possono infatti aggravare le malattie respiratorie croniche come l'asma, la bronchite e l'enfisema.

Le persone più vulnerabili sono gli anziani, gli asmatici, i bambini e chi svolge un'intensa attività fisica all'aperto, sia di tipo lavorativo che sportivo. Nei luoghi di lavoro più soggetti all'inquinamento da particolato l'inalazione prolungata di queste particelle può provocare reazioni fibrose croniche e necrosi dei tessuti che comportano una broncopolmonite cronica accompagnata spesso da enfisema polmonare.

### **3.2.3 Effetti sull'ambiente**

Gli effetti del particolato sul clima e sui materiali sono piuttosto evidenti. Il particolato dei fumi e delle esalazioni provoca una diminuzione della visibilità atmosferica; allo stesso tempo diminuisce anche la luminosità assorbendo o riflettendo la luce solare. Negli ultimi 50 anni si è notata una diminuzione della visibilità del 50%, ed il fenomeno risulta tanto più grave quanto più ci si avvicina alle grandi aree abitative ed industriali. Le polveri sospese favoriscono la formazione di nebbie e nuvole, costituendo i nuclei di condensazione attorno ai quali si condensano le gocce d'acqua, di conseguenza favoriscono il verificarsi dei fenomeni delle nebbie e delle piogge acide, che comportano effetti di erosione e corrosione dei materiali e dei metalli. Il particolato inoltre danneggia i circuiti elettrici ed elettronici, insudicia gli edifici e le opere d'arte e riduce la durata dei tessuti.

Le polveri (ad esempio quelle emesse dai cementifici), possono depositarsi sulle foglie delle piante e formare così una patina opaca che, schermando la luce, ostacola il processo della fotosintesi.

Gli effetti del particolato sul clima della terra sono invece piuttosto discussi; sicuramente un aumento del particolato in atmosfera comporta una diminuzione della temperatura terrestre per un effetto di riflessione e schermatura della luce solare, in ogni caso tale azione è comunque mitigata dal fatto che le particelle riflettono anche le radiazioni infrarosse provenienti dalla terra.

E' stato comunque dimostrato che negli anni immediatamente successivi alle più grandi eruzioni vulcaniche di tipo esplosivo (caratterizzate dalla emissione in atmosfera di un'enorme quantità di particolato) sono seguiti degli anni con inverni particolarmente rigidi.

Alcune ricerche affermano che un aumento di 4 volte della concentrazione del particolato in atmosfera comporterebbe una diminuzione della temperatura globale della terra pari a 3,5°C.

## **3.3 Monossido di Carbonio (CO)**

### **3.3.1 Le caratteristiche**

L'ossido di carbonio o monossido di carbonio è un gas incolore, inodore, infiammabile e molto tossico. Si forma durante le combustioni delle sostanze organiche, quando sono incomplete per difetto di aria (cioè per mancanza di ossigeno).

Le emissioni naturali e quelle antropogeniche sono oramai dello stesso ordine di grandezza, e questo fa chiaramente comprendere quale sia il trend inquinante che si è instaurato nel corso dell'ultimo secolo. Il monossido di carbonio è estremamente diffuso soprattutto nelle aree urbane a causa dell'inquinamento prodotto dagli scarichi degli autoveicoli.

Gli effetti sull'ambiente sono da considerarsi trascurabili, mentre gli effetti sull'uomo sono particolarmente pericolosi.

### **3.3.2 Effetti sull'uomo**

Per le sue caratteristiche l'ossido di carbonio rappresenta un inquinante molto insidioso, soprattutto nei luoghi chiusi dove si può accumulare in concentrazioni letali. Tali situazioni sono purtroppo frequenti e innumerevoli sono i casi di avvelenamento e gli incidenti anche mortali imputabili alle stufe o agli scaldabagni difettosi o non controllati.

Essendo il CO incolore, insapore, inodore e non irritante, può causare morti accidentali senza che le vittime si rendano conto di quel che sta loro succedendo. Una volta respirato, il CO si lega all'emoglobina con una affinità che è 220 volte superiore a quella dell'ossigeno, formando un composto inattivo fisiologicamente che viene chiamato carbossiemoglobina. Questa sostanza, al contrario dell'emoglobina, non è in grado di garantire l'ossigenazione ai tessuti, in particolare al cervello ed al cuore, così da provocare la morte per asfissia. I primi sintomi dell'avvelenamento sono l'emicrania e un senso di vertigine, purtroppo il gas provoca anche sonnolenza e questo impedisce spesso alle vittime di avvertire il pericolo e di aerare il locale.

A causa del traffico automobilistico la popolazione urbana è spesso soggetta a lunghe esposizioni a basse concentrazioni, la lenta intossicazione da ossido di carbonio prende il nome di ossicarbonismo e si manifesta con sintomi nervosi e respiratori.

Nel sangue è presente una percentuale di carbossiemoglobina che dipende dalla concentrazione di CO alla quale una persona è esposta: per ogni ppm di CO presente in aria, lo 0,16% di emoglobina viene trasformato in carbossiemoglobina; sono necessarie però alcune ore perché si raggiunga la massima saturazione. In proporzione periodi di esposizione più brevi formano meno carbossiemoglobina.

Sono considerate fisiologiche concentrazioni di carbossiemoglobina minori dell'1% dell'emoglobina circolante nel sangue. Quando nell'aria la concentrazione di CO è di 12-31 ppm si arriva al 2-5% di carbossiemoglobina e si manifestano i primi segni con aumento delle pulsazioni cardiache, aumento della frequenza respiratoria e disturbi psicomotori (nei guidatori di auto si allungano in

modo pericoloso i tempi di reazione). A 100 ppm di esposizione per diverse ore (come nel caso di lunghe soste in gallerie stradali) compaiono vertigini, cefalea e senso generale di spossatezza che possono essere seguiti da collasso.

Nei fumatori la percentuale di carbossiemoglobina presente nel sangue può variare dal 6% in fumatori moderati, sino al 10% in accaniti fumatori di sigarette esposti anche ad una concentrazione esterna di CO di circa 40 ppm per 1 ora, quando al confronto un non fumatore ha un aumento di carbossiemoglobina da 1,6 al 2,6%.

L'esposizione a monossido di carbonio comporta inoltre l'aggravamento delle malattie cardiovascolari, un peggioramento dello stato di salute nelle persone sane ed un aggravamento delle condizioni circolatorie in generale.

### **3.3.3 Effetti sull'ambiente:**

Gli effetti che il Monossido di Carbonio ha sull'ambiente possono considerarsi trascurabili.

## **4 MODELLI DI SIMULAZIONE**

### **4.1 Il modello di simulazione emissivo e diffusionale: EDMS**

#### **4.1.1 Aspetti generali**

Il modello di simulazione utilizzato è stato necessario per studiare da un lato le emissioni dei principali inquinanti prodotti delle sorgenti connesse all'esercizio di infrastrutture aeroportuali, dall'altro il trasporto e la dispersione di tali inquinanti in atmosfera attraverso l'uso di modelli matematici.

Al fine di una corretta stima delle concentrazioni, il modello da applicare, deve essere scelto dopo aver risposto ad alcune domande di carattere generale. Deve essere preliminarmente definito lo scenario di applicazione, inteso come l'insieme degli elementi caratteristici del problema che consentono di individuare la categoria di modelli appropriata. In tal senso devono essere definite:

- la scala spaziale e temporale;
- complessità territoriale, orografica e meteorologica dell'area;
- tipologia delle sorgenti di emissione;
- sostanze inquinanti da considerare.

In secondo luogo si devono verificare in dettaglio i requisiti degli output che si desiderano dal modello e la disponibilità di tutti i dati di input necessari e delle risorse hardware e software.

Il modello utilizzato nel caso in specie è il software realizzato dalla FAA (Federal Aviation Administration) in collaborazione con la USAF (U.S. Air Force) ed è attualmente il modello più utilizzato al mondo per studiare la dispersione dell'inquinamento atmosferico prodotto da un

aeroporto. Questo modello, denominato EDMS (Emissions and Dispersion Modeling System), viene costantemente aggiornato al fine di garantire risultati sempre più attendibili.

La sua struttura prevede una serie di sottomodelli in grado di considerare e valutare le emissioni generate dalle sorgenti presenti sia all'interno sia all'esterno dell'aeroporto. In maniera schematica si distinguono due moduli principali: uno relativo alla trattazione dei fenomeni di emissione (Emission Module) e l'altro relativo alla dispersione degli inquinanti in atmosfera (Dispersion Module).

Nel primo modulo avviene la stima della quantità e delle tipologie di inquinanti immesse in atmosfera da ogni singola sorgente. Una volta determinata la quantità di inquinante in atmosfera, il secondo modulo ne segue il destino, considerando i processi fisici legati alle condizioni meteorologiche a cui ciascun inquinante è sottoposto; in questa fase avviene la stima delle concentrazioni degli inquinanti nei siti indicati come recettori.

EDMS si appoggia ad un database interno ed interagisce con l'utente attraverso un'interfaccia grafica utilizzando in entrambi i moduli algoritmi approvati dall'agenzia per la protezione ambientale americana (EPA-Environmental Protection Agency).

Al fine di procedere all'applicazione del modello è necessaria una dettagliata ricerca circa tutte le attività presenti all'interno del sedime aeroportuale che emettano particelle inquinanti, contribuendo in quantità più o meno significativa all'alterazione delle condizioni atmosferiche.

Una volta catalogate le sorgenti inquinanti è necessario affiancare ad esse le informazioni topografiche e meteorologiche del sito, raccolte nello stesso periodo temporale, dal momento che sono le principali responsabili della diffusione delle emissioni prodotte. L'output fornito dal modello è rappresentato dalle concentrazioni medie, orarie, giornaliere e annuali, dei singoli inquinanti previste in corrispondenza di recettori definiti, ovvero su una maglia di punti di calcolo.

Attraverso un'interfaccia grafica il software permette l'immissione di tutti i dati necessari ad effettuare, a seconda delle esigenze, sia un inventario delle emissioni presenti nell'aeroporto esaminato sia ad abbinare a queste le informazioni necessarie per calcolarne la dispersione.

Utilizzando metodologie approvate dall'EPA, il primo modulo del programma fornisce una panoramica delle emissioni prodotte dalle varie sorgenti presenti in una struttura aeroportuale, quali gli aeroplani e tutti i veicoli a motore (interni ed esterni all'aeroporto), nonché una serie di sorgenti stazionarie come gli inceneritori o le centrali termiche.

La dispersione di questi inquinanti, trasportati anche fuori dall'aeroporto, è stimata dal secondo modulo che richiede per questo informazioni sia sui dati meteorologici caratterizzanti il sito sia informazioni sull'orografia della zona.

In dettaglio EDMS utilizza il modello AERMOD, modello di dispersione degli inquinanti sviluppato dall'EPA, e AERMET, preprocessore meteorologico di AERMOD, per restituire in formato di testo i valori delle concentrazioni degli inquinanti nell'area studiata (cfr. Figura 4-1).

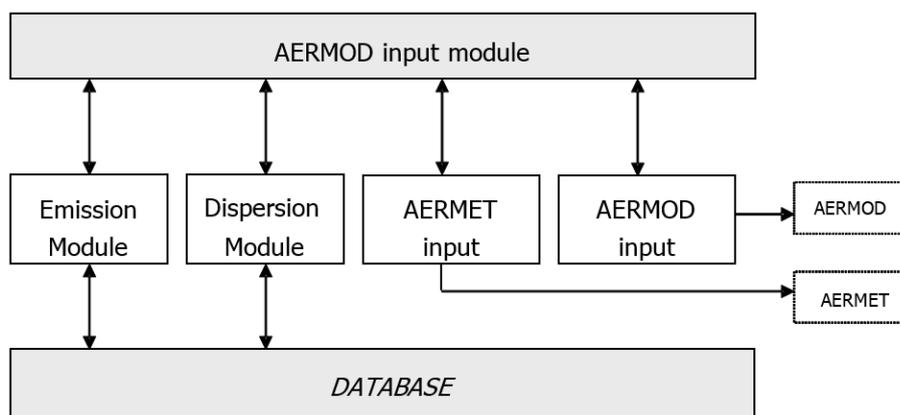


Figura 4-1 Struttura del sistema

Il diagramma in Figura 4-2 illustra in maniera chiara i successivi passaggi che l'utente si trova ad affrontare nell'esecuzione completa di uno studio dell'inquinamento atmosferico di un aeroporto attraverso l'uso del software EDMS.

Per cominciare occorre impostare un "nuovo studio" specificando il nome dell'aeroporto ed indicandone la posizione attraverso la latitudine, la longitudine e l'altezza sul livello del mare. Si passa quindi ad inserire l'elenco completo delle sorgenti inquinanti presenti nel sedime analizzato, indicandone la tipologia, l'eventuale carburante utilizzato, il tempo di attività e, unicamente se si desidera utilizzare anche il Dispersion Module, la distribuzione di tale attività nelle diverse ore della giornata e nei diversi periodi dell'anno.

A questo punto il modello contiene tutti i dati necessari per generare un inventario delle emissioni che restituisca sia per singola sorgente che come totale prodotto dall'unione di tutte le fonti inquinanti legate alle attività aeroportuali.

Per calcolare la dispersione delle emissioni quantificate sono necessarie una serie di ulteriori informazioni; oltre al già menzionato profilo operativo che descrive la distribuzione delle attività durante le ore della giornata influenzate anche dai diversi periodi dell'anno, è richiesta l'introduzione delle coordinate di ogni singola sorgente in modo da costruire una piantina in scala del sedime studiato. Utilizzando poi l'elenco degli aerei inserito nel primo modulo si deve assegnare ad ognuno di questi la pista di atterraggio, il gate di stazionamento con il percorso per raggiungerlo e la pista di decollo.

Il programma, infine, consente di inserire fino a 1500 punti recettori, per i quali indicherà per ogni inquinante trasportato la variazione oraria della sua concentrazione.

Un passaggio chiave nello studio della dispersione è la creazione dei due file meteorologici utilizzati da AERMET, uno contenente le condizioni climatiche sulla superficie, l'altro la situazione meteorologica in quota.

A questo punto EDMS ha sufficienti informazioni per creare un file di input per AERMOD che calcolerà così la dispersione degli inquinanti nei punti recettori precedentemente inseriti; i risultati, salvati in un file di testo, possono essere letti, stampati o utilizzati in altri programmi (quali ad esempio EXCEL e SURFER) per effettuare dei grafici rappresentativi della situazione.

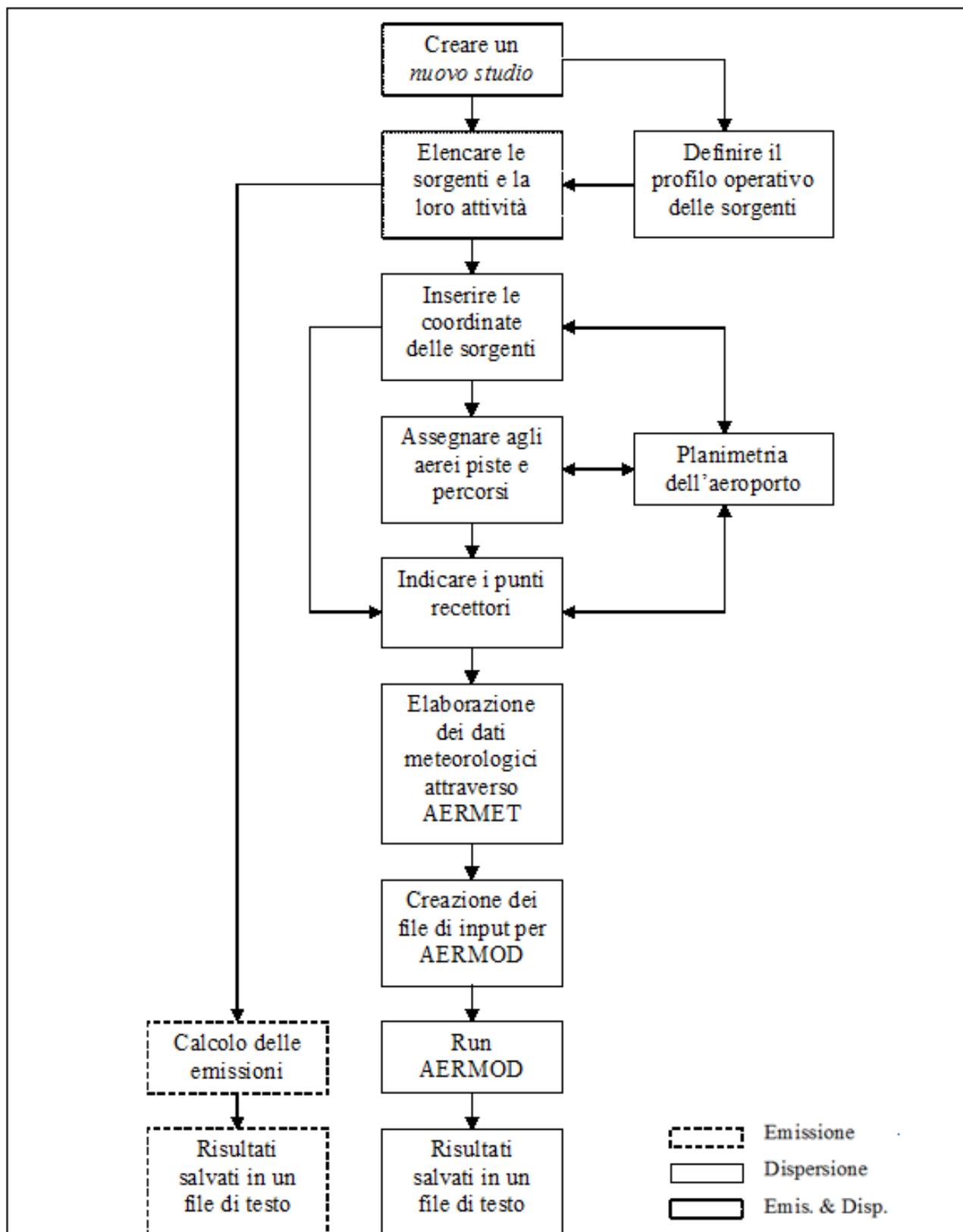


Figura 4-2 Diagramma di flusso del software EDMS.

#### “Emission Module”

Questa prima parte del software permette di calcolare la quantità di sostanze inquinanti immesse nell’ambiente dalle diverse sorgenti presenti in un aeroporto. Attraverso delle finestre di dialogo il programma invita l’utente ad inserire i dati necessari riguardanti prima gli aerei e le attività ad essi connesse, poi gli autoveicoli, sia in moto che in sosta, ed infine una serie di sorgenti stazionarie.

Per ogni dato che il programma richiede di inserire, come i modelli di aerei utilizzati o le macchine operatrici (GSE) di cui necessitano, è disponibile un ricchissimo database composto dalla quasi totalità dei modelli presenti sul mercato attuale; è però sempre possibile creare un nuovo modello non presente nella lista inserendone tutte le caratteristiche fornite direttamente dalla casa produttrice o ricercate in letteratura, quali ad esempio il consumo di carburante con i relativi indici di emissione (EPA,1992; EPA et al, 1996).

#### “Dispersion Module”

Il secondo modulo genera dei file di input utilizzabili dal modello di dispersione AERMOD con il suo preprocessore meteorologico AERMET, al fine di restituire le concentrazioni orarie degli inquinanti nei punti recettori precedentemente definiti a diverse distanze dalle sorgenti.

Il modello AERMOD assume una distribuzione della concentrazione di forma gaussiana sia in direzione orizzontale sia lungo la verticale se si è in condizioni di stabilità atmosferica; in uno strato limite convettivo, lungo l’orizzontale la dispersione è gaussiana mentre in direzione verticale la concentrazione è calcolata con una funzione di probabilità della densità.

La teoria di approccio al problema della dispersione utilizzata dal modello è quella euleriana che studia il trasporto e la dispersione rispetto ad un sistema fisso solidale con la terra, contrapponendosi a quella lagrangiana che sfrutta un sistema di riferimento solidale con la particella in movimento con l’ipotesi semplificativa della conservazione della massa nel tempo.

### 4.1.2 Inventario delle principali sorgenti inquinanti

Il principale contributo alle emissioni o dell’aria è dato ovviamente dagli aeromobili, per una notevole emissione di particelle inquinanti e la grande quantità di ossigeno bruciato dai suoi motori. Per la combustione di ogni chilogrammo di Kerosene vengono utilizzati infatti circa 3,4 kg di ossigeno e le medie delle quantità di alcuni prodotti di tale combustione, sebbene possano variare molto da motore a motore, possono rientrare nei seguenti intervalli:

<b>CO</b>	0,7-2,5 g/kg
<b>NOx</b>	6-20 g/kg
<b>SO2</b>	1-2 g/kg
<b>CO2</b>	3-4 kg/kg
<b>CxHy</b>	0,1-0,7 g/kg
<b>H2O</b>	1-2 kg/kg

Tabella 4-1 Quantità medie di inquinanti prodotti ogni kg di combustibile

Questi possono variare a seconda dell'attività svolta dal mezzo, ovvero della fase in cui si trova ad operare l'aeromobile la quale caratterizza la fase di funzionamento del motore dell'aeromobile steso. A titolo esemplificativo nella fase di decollo si producono principalmente gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo e le particelle in sospensione mentre durante l'atterraggio il monossido di carbonio e gli idrocarburi.

Strettamente connesse all'aeromobile sono poi una lunga serie di attività anch'esse inquinanti, indicate con la sigla *GSE (Ground Support Equipment)*, che l'affiancano dal momento dell'atterraggio fino al successivo decollo; tra queste possiamo citare le più comuni come i mezzi di trasporto per l'imbarco dei passeggeri, i mezzi adibiti al carico e scarico merci, i rimorchiatori degli aeromobili che li guidano negli spostamenti, i deicers.

Oltre a tali sorgenti è opportuno ricordare i Gruppi Elettrogeni Ausiliari degli aerei, più noti con la sigla *APU (Auxiliary Power Unit)*, anch'essi responsabili di una quota parte dell'inquinamento aeroportuale. Questi sono utilizzati sia come generatori di corrente per procurarsi l'energia necessaria per l'utilizzo delle apparecchiature elettriche di bordo anche dopo l'atterraggio e il conseguente spegnimento dei motori, sia per garantire il continuo funzionamento dei condizionatori d'aria.

Un tempo utilizzati senza limitazioni, oggi, in ragione di una maggiore sensibilità verso le problematiche ambientali, se ne limita il più possibile l'impiego grazie al ricorso alle prese di corrente a 400 Hz da cui l'aereo in sosta può trarre l'energia di cui necessita, disponibili presso i gate di tutti i maggiori aeroporti. Per quanto riguarda invece il condizionamento dell'aria sono utilizzate delle macchine (appartenenti anch'esse a quell'insieme di attrezzature denominato GSE) che, una volta portatesi sotto l'aereo, lo forniscono di aria già condizionata.

Oltre a tali sorgenti, direttamente correlabili al funzionamento dell'aeroporto, vi sono delle sorgenti che si potrebbero definire indirette, ma che contribuiscono in maniera significativa all'inquinamento atmosferico locale.

Tra questi, un ruolo non trascurabile è ricoperto dal *traffico veicolare*, costituito, oltre che dalle automobili utilizzate dagli operatori aeroportuali per spostarsi all'interno del sedime e dai già menzionati mezzi adibiti all'assistenza degli aerei in sosta (GSE), i flussi originati ed attratti dall'aeroporto stesso, termine con il quale si è soliti individuare sia la componente passeggeri che quella addetti.

In ogni caso, a prescindere dalle diverse componenti di traffico, tali flussi sono costituiti per la maggior parte da mezzi mossi da motori a combustione ed alimentati a benzina verde o gasolio.

Un'ultima sorgente emissiva non trascurabile, spesso presente nei grandi aeroporti, sono le centrali termiche utilizzate dall'aeroporto per la produzione propria dell'energia necessaria alle attività quotidiane.

Nei capitoli successivi si descriveranno in maniera sintetica le metodologie di calcolo delle emissioni delle sorgenti sopracitate considerate all'interno del software EDMS.

#### 4.1.3 Calcolo delle emissioni prodotte dagli aeromobili

Il calcolo delle emissioni prodotte dagli aeromobili è condotto mediante il software EDMS (descritto nel precedente capitolo) che contiene una banca dati con un elenco di quasi 500 modelli diversi di aeromobili e per ognuno di essi propone una lista di motori di cui l'aereo considerato può essere fornito. Una volta inserito il modello di aereo con i rispettivi motori si deve indicare quanti movimenti effettua durante il periodo in cui si esegue lo studio. L'attività di un aereo è calcolata per ogni Landing-Takeoff Cycle (LTO), cioè l'insieme delle varie fasi che si susseguono dall'avvicinamento al suolo e atterraggio (landing), a cui segue lo spostamento a terra fino a raggiungere il gate assegnato da cui ripartire una volta effettuate tutte le operazioni, spostandosi verso la pista di decollo dove si attende il proprio turno per il rialzarsi in volo (takeoff).

Il programma contiene inoltre un database in cui ad ogni modello di aeromobile associa i minuti necessari all'avvicinamento al suolo e atterraggio e i minuti necessari al decollo e salita in quota. Altre informazioni richieste per il singolo modello di aereo inserito sono il tipo di APU di cui è fornito, anch'esso da scegliere in un elenco di modelli compatibili con l'aereo, e indicare tutte le unità operative di cui necessità durante la sosta al gate.

Unendo i dati inseriti alle nozioni presenti nel database che il software contiene, quali ad esempio gli indici di emissioni di alcuni inquinanti, espressi in grammi prodotti per kg di carburante utilizzato, o la quantità di carburante necessaria ad un dato aereo nelle vari fasi di LTO, EDMS restituisce per il periodo considerato la quantità di ogni singolo inquinante prodotta da ogni aereo nelle sue diverse fasi, utilizzando formule matematiche con la seguente struttura:

$$E_{ij} = \sum \left( TF_{jk} \times \frac{FC_{jk}}{1000} IE_{jk} \times NM_j \right)$$

dove:

- Eij= emissione dell'inquinante i prodotto dal modello di aereo j in un singolo LTO Cycle;
- TFjk= durata della fase k per il modello di aereo j;
- FCjk= flusso di carburante durante la fase k per ogni motore usato dal modello di aereo j;
- IEijk= indice di emissione dell'inquinante i durante la fase k per il modello di aereo j;
- NMj= numero di motori montati sul modello di aereo j.

Modello	Operazione	Flusso di carburante [Kg/s]	CO [g/kg]	HC [g/kg]	NOx [g/kg]	SOx [g/kg]
Airbus320	Approach	0,000051	25,046	4,923	4,090	1,717
Airbus320	Climb Out	0,921	0,946	0,243	22,889	1,717

Modello	Operazione	Flusso di carburante [Kg/s]	CO [g/kg]	HC [g/kg]	NOx [g/kg]	SOx [g/kg]
Airbus320	Takeoff	1,102	0,924	0,237	25,988	1,717
Airbus320	Taxi	0,512	0,924	0,386	13,882	1,717

Tabella 4-2 Esempio di flusso di carburante (FC) e di indici di emissione (IE) per il modello Airbus Industrie 320 nelle diverse attività svolte

Per calcolare il totale delle emissioni prodotte dagli aeromobili bisogna moltiplicare quelle ora calcolate per il modello di aereo j durante un singolo LTO per il numero di LTO effettuati nel periodo in esame ed eseguire poi una sommatoria di tutti i modelli considerati:

$$E_{ti} = \sum (EI_{ij} \times LTO_j)$$

dove:

- $E_{ti}$  = emissione totale dell'inquinante i prodotto dagli aerei transitanti nel sito nel periodo considerato;
- $E_{ij}$  = emissione dell'inquinante i prodotto dal modello di aereo j in un singolo LTO Cycle;
- $LTO_j$  = numero di Landing and Takeoff Cycle effettuati dal modello di aereo j durante il periodo in esame.

#### 4.1.4 Calcolo delle emissioni prodotte dagli APU

Per il calcolo di queste emissioni basta conoscere il modello di APU di cui un aereo è dotato e la durata del suo funzionamento.

Anche in questo caso il software possiede un elenco di APU compatibili con l'aereo inserito e ne conosce le caratteristiche tecniche necessarie quali il consumo di carburante e gli indici di emissione dei vari inquinanti, disponibili comunque in letteratura (EPA et al, 1996).

Il calcolo delle emissioni prodotte dagli APU viene calcolato per un singolo LTO ed è direttamente proporzionale al suo tempo di funzionamento:

$$E_{ij} = T \times \frac{FF_j}{1000} \times E_{ij} \times N_j$$

dove:

$E_{ij}$  = emissione dell'inquinante i prodotto dal modello di APU installato sul modello di aereo j in un singolo LTO Cycle;

- T = tempo di funzionamento dell'APU in un LTO Cycle;
- $FF_j$  = flusso di carburante per ogni APU utilizzato dal modello di aereo j;
- $E_{ij}$  = indice di emissione dell'inquinante i per ogni APU installato sul modello di aereo j;
- $N_j$  = numero di APU installati sul modello di aereo j.

Per calcolare il totale delle emissioni prodotte bisogna moltiplicare quelle ora calcolate per il modello di aereo j durante un singolo LTO per il numero di LTO eseguiti da questo aeromobile nel periodo considerato ed eseguire poi una sommatoria di tutti gli aerei transitanti nel sito:

$$E_{ti} = \sum (EI_{ij} \times LTO_j)$$

dove:

- $E_{ti}$  = emissione totale dell'inquinante  $i$  prodotto dagli APU installati su tutti i modelli di aerei considerati;
- $EI_{ij}$  = emissione dell'inquinante  $i$  prodotto dal modello di APU installato sul modello di aereo  $j$  in un singolo LTO Cycle;
- $TO_j$  = numero di Landing and Takeoff Cycle effettuati dal modello di aereo  $j$  durante il periodo in esame.

#### 4.1.5 Calcolo delle emissioni prodotte dai GSE

Arrivato al gate all'aereo si affiancano una lunga serie di altri mezzi indicati con la sigla GSE (Ground Support Equipment) ognuno con un compito specifico come ad esempio il carico-scarico bagagli, il rifornimento carburante e il trasporto dei passeggeri. Sono circa 200 i mezzi presenti nel database del software con indicate tutte le loro caratteristiche tecniche, è comunque possibile inserire una macchina particolare o di nuova produzione che non compare nella lista una volta documentatisi sul tipo di alimentazione e la potenza del motore e i rispettivi indici di emissione (Jagielsky et al,1994).

La seguente equazione viene utilizzata per calcolare l'emissione di un determinato inquinante effettuata dal mezzo in esame:

$$E_{it} = BHP_t \times FC_t \times T_t \times IE_{it}$$

dove:

- $E_{it}$  = emissione dell'inquinante  $i$  prodotto dal GSE  $t$ ;
- $HPT_t$  = potenza effettiva del motore del GSE  $t$ ;
- $FC_t$  = fattore di carico del mezzo  $t$ ;
- $T_t$  = tempo di attività del mezzo  $t$ ;
- $IE_{it}$  = indice di emissione dell'inquinante  $i$  per il mezzo  $t$ .

Il termine  $T_t$  di questa equazione può riferirsi direttamente alle ore annue di attività del singolo mezzo considerato in modo da poter effettuare il calcolo senza tenere conto dall'abbinamento del mezzo ad uno specifico aereo ed i suoi LTO.

#### 4.1.6 Calcolo delle emissioni prodotte dagli autoveicoli

L'inquinamento prodotto dagli autoveicoli si differenzia a seconda dell'attività svolta dal mezzo: la differenza principale sta nel calcolo delle emissioni durante la marcia del veicolo (EPA, 1992; EPA, 1993) e nel calcolo delle sostanze emesse durante la sosta (EPA, 1993b).

Il modello matematico utilizzato permette di considerare sia i veicoli presenti all'interno del sedime aeroportuale, sia le automobili che transitano sulle maggiori vie di comunicazione che portano all'aeroporto.

Il calcolo delle emissioni legate ai veicoli in movimento richiede l'inserimento del numero di automobili che percorrono un dato tragitto, la velocità media, il carburante utilizzato e la lunghezza del tratto percorso; a questi dati sono affiancati gli indici di emissione presenti nel database interno al programma al fine di utilizzare la seguente formula:

$$E_i = EI_{ivc} \times D \times N$$

dove:

- $E_i$  = emissione dell'inquinante  $i$  prodotto dal veicolo considerato;
- $EI_{ivc}$  = indice di emissione dell'inquinante  $i$  per una data velocità media  $v$  utilizzando un carburante  $c$ ;
- $D$  = distanza percorsa;
- $N$  = numero di veicoli considerati.

Tuttavia è possibile inserire manualmente il fattore di emissione  $EI_{ivc}$  al fine di calcolare le emissioni da traffico veicolare circolante.

Il codice di calcolo per la stima delle emissioni implementato all'interno di EDMS è il modello Mobile sviluppato dall'US EPA. Tale modello è sviluppato sulle basi del parco veicolare circolante americano. Al fine di considerare la differente composizione nonché i differenti limiti imposti dalla normativa europea si è scelto di inserire il fattore di emissione desunto dall'applicazione della metodologia sviluppata dalla EEA nell'ambito del progetto Corinair, implementata nel software COEPRT IV.

In ultimo sono state considerate quali sorgenti emissive oltre alle strade anche i parcheggi presenti all'interno del sedime aeroportuale e a servizio dell'aeroporto stesso.

#### 4.1.7 Calcolo delle emissioni prodotte da altre sorgenti stazionarie

Per calcolare le emissioni prodotte dalle centrali termiche è necessario conoscere la quantità e la tipologia del combustibile utilizzato ed alcune caratteristiche dell'impianto per poter risalire agli indici di emissione (EPA, 1998) e poter applicare la seguente formula:

$$E_{ti} = Q \times IE_i$$

dove:

- $E_{ti}$  = emissione dell'inquinante  $i$  per il periodo considerato;
- $Q$  = quantità totale del combustibile usato nel periodo in esame;
- $IE_i$  = indice di emissione dell'inquinante  $i$ .

Il software contiene un ricco database con le caratteristiche delle possibili tipologie di sorgenti che si possono incontrare in modo da limitare la lista degli input necessari. In analogia a quanto visto per le sorgenti stradali anche per le sorgenti puntuali è possibile inserire dei fattori di emissione definiti dall'utente.

## 4.2 Il modello di simulazione COPERT 5

COPERT 5 è stato utilizzato per la definizione dei fattori di emissione della rete stradale, implementati successivamente all'interno del software EDMS. La metodologia utilizzata da COPERT 5 è parte integrante del EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook per il calcolo dell'inquinamento atmosferico ed è in linea con gli orientamenti IPCC del 2006 per il calcolo delle emissioni di gas a effetto serra.

COPERT 5 trae le sue origini in una metodologia sviluppata da un gruppo di lavoro che è stato istituito in modo esplicito a tale scopo nel 1989 (COPERT 85). Questo è stato poi seguito da COPERT 90, COPERT II, COPERT III e COPERT IV.

La versione attuale è una sintesi dei risultati delle varie attività su larga scala e progetti dedicati, quali:

1. progetti dedicati finanziati dal Centro comune di ricerca/Trasporti e l'Unità Qualità dell'aria;
2. programma annuale di lavoro del "European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC / ACM)";
3. programma di lavoro del "European Research Group on Mobile Emission Sources (Ermes)";
4. progetto MEET (Methodologies to Estimate Emissions from Transport), una Commissione Europea (DG VII) che ha promosso il progetto all'interno del 4 ° Framework Program (1996-1998);
5. il progetto particolato (Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles), una Commissione europea (DG Transport) PROGETTO nell'ambito del 5° Framework Program (2000-2003);
6. il progetto ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems), una Commissione europea (DG Trasporti) PROGETTO nell'ambito del 5° Framework Program (2000-2007);
7. il progetto congiunto JRC/CONCAWE/ACEA sull' evaporazione del carburante da veicoli a benzina (2005-2007)<sup>1</sup>.

Il livello metodologico adottato è il "Tier 3 method" in cui le emissioni sono calcolate usando una combinazione di dati tecnici e di "attività" intesi quali il numero di veicoli circolanti, i chilometri percorsi ecc. L'algoritmo utilizzato nella metodologia descrive le emissioni totali come la somma di due componenti:

<sup>1</sup> Informazioni tratte dal sito <http://www.emisia.com>

- EHOT sono le emissioni dovute al regime di funzionamento del motore così detto "a caldo";
- ECOLD sono le emissioni legate al transitorio termico legato al funzionamento del motore così detto "a freddo".

Le emissioni totali sono calcolate come somma delle singole componenti, in funzione dei dati di circolazione desunti dalle differenti condizioni di circolazione, a cui corrispondono diversi fattori di emissione.

### 4.3 Il modello di simulazione AERMOD View

Il modello di simulazione matematico relativo alla dispersione degli inquinanti in atmosfera a cui si è fatto riferimento per le simulazioni in fase di cantiere è il software AERMOD View, distribuito dalla Lakes Environmental, il quale, partendo dalle informazioni sulle sorgenti e sulle condizioni meteorologiche, fornisce la dispersione degli inquinanti in atmosfera e i relativi livelli di concentrazione al suolo.

AERMOD View incorpora i principali modelli di calcolo utilizzati dall'U.S. EPA attraverso un'interfaccia integrata. Tali modelli sono:

- Aermol,
- ISCST3,
- ISC-PRIME.

In particolare AERMOD è un modello di tipo Gaussiano (Steady-state Gaussian plume air dispersion model) basato su un modello di stabilità atmosferica di tipo "Planetary boundary layer theory"<sup>2</sup>, che consente di valutare, attraverso algoritmi di calcolo, i fattori di deflessione degli edifici, i parametri di deposizione al suolo degli inquinanti, l'effetto locale dell'orografia del territorio ed in ultimo i calcoli relativi alle turbolenze meteorologiche.

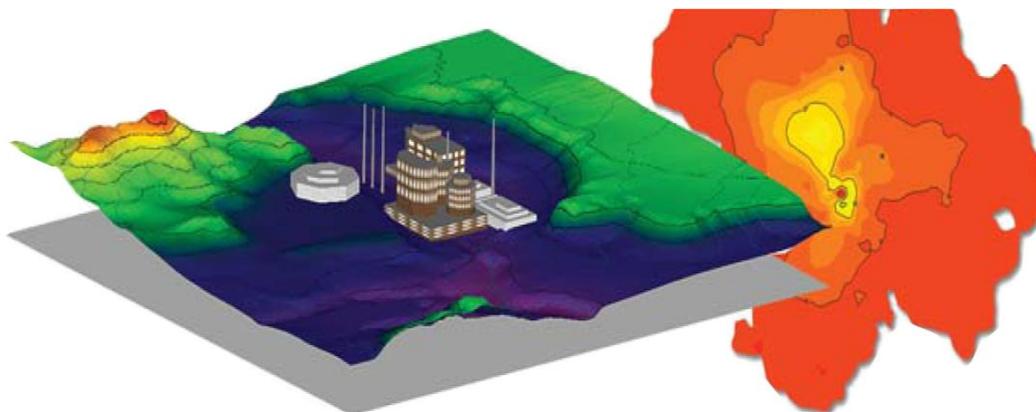


Figura 4-3 - AermolView - Esempio di modellazione grafica 3D delle curve di isoconcentrazione

<sup>2</sup> AERMOD Tech Guide – Gaussian Plume Air Dispersion Model. Version 7.6

Il codice AERMOD è stato sviluppato dall'American Meteorological Society – EPA, quale evoluzione del modello gaussiano ISC3. La dispersione in atmosfera della sostanza inquinante è funzione delle condizioni di stabilità atmosferica dell'area di riferimento stessa<sup>3</sup>:

- strato limite dell'atmosfera stabile: la distribuzione è di tipo gaussiano sia in direzione orizzontale che in direzione verticale;
- strato limite dell'atmosfera instabile: la distribuzione è di tipo gaussiano in direzione orizzontale e bi-gaussiano in direzione verticale.

Tale impostazione supera le tipologie di modelli precedenti (ISC3) permettendo di superare i limiti dei modelli gaussiani, i quali non erano in grado di simulare, in maniera sufficientemente rappresentativa, le condizioni di turbolenza dello strato limite atmosferico.

Il codice prende in considerazione diversi tipi di sorgente:

- puntuali;
- lineari;
- areali;
- volumiche.

Per ognuna di tali sorgenti il modello fa corrispondere un diverso algoritmo di calcolo delle concentrazioni. Il modello, pertanto, calcola il contributo di ciascuna sorgente nel dominio d'indagine, in corrispondenza dei punti ricettori i quali possono essere punti singolari, o una maglia di punti con passo definito dall'utente.

Poiché il modello è di tipo stazionario, le emissioni sono assunte costanti nell'intervallo temporale di simulazione, tuttavia, è possibile fornire al modello stesso una differenziazione relativa ai fattori di emissioni calcolati nel giorno, ovvero definire per ogni ora del giorno un fattore di emissione relativo alla sorgente *i*-esima differente. Tale opzione di calcolo risulta particolarmente utile per la definizione delle concentrazioni derivanti da sorgenti che non utilizzano cicli di lavoro continui relativi alle 24h.

Infine vengono considerati anche gli effetti derivanti dalla conformazione degli edifici. Grazie al modellatore 3D è possibile avere una rappresentazione grafica dell'area d'intervento sia in termini di terreno che in termini di edifici e sorgenti.

<sup>3</sup> US EPA, User Guide for the AMS EPA regulatory model AERMOD – USA (2004)

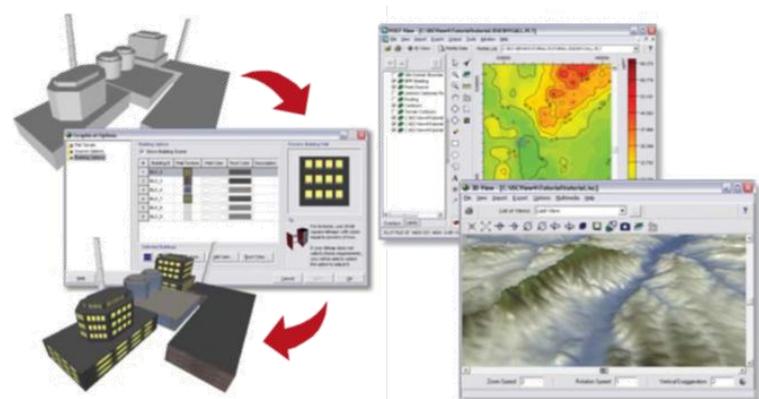


Figura 4-4 - Esempio di modulo di visualizzazione 3D integrato nel modello di calcolo

In ultimo il modello si avvale di due ulteriori modelli per la valutazione degli input meteorologici e territoriali. Il primo modello, AERMET, consente di elaborare i dati meteorologici rappresentativi dell'area d'intervento, al fine di calcolare i parametri di diffusione dello strato limite atmosferico. Esso permette, pertanto, ad AERMOD di ricavare i profili verticali delle variabili meteorologiche più influenti. Il secondo modello, AERMAP, invece, consente di elaborare le caratteristiche orografiche del territorio in esame.

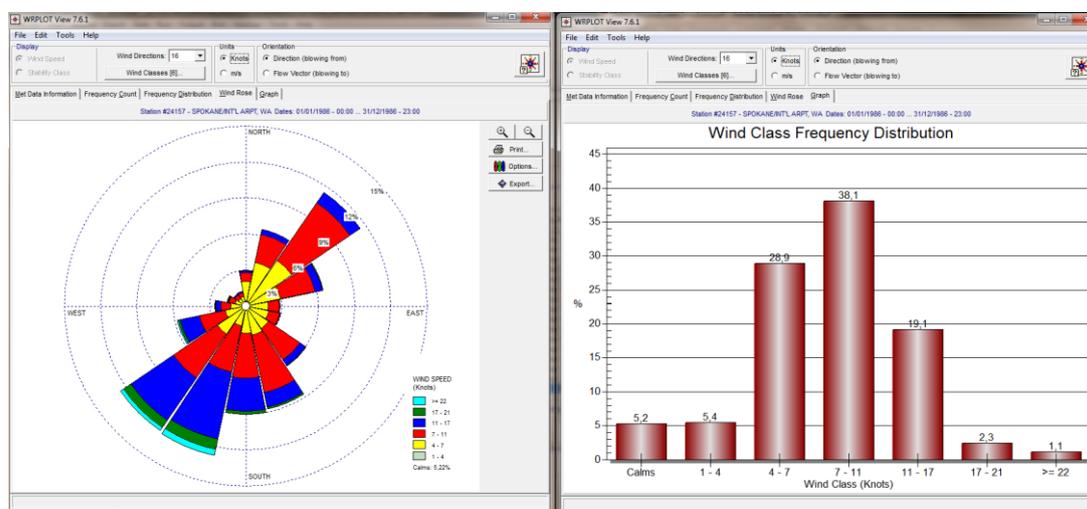


Figura 4-5 - Esempio di applicazione del modulo AERMET

Come accennato, l'output del modello è rappresentato dalla valutazione delle concentrazioni di inquinanti in riferimento ai ricettori scelti. Qualora si scelga di rappresentare i risultati attraverso una maglia, il software, grazie ad algoritmi di interpolazione è in grado di ricostruire le curve di isoconcentrazione, al fine di determinare una mappa di isoconcentrazione degli inquinanti.

Per maggiore chiarezza si può fare riferimento ad una struttura semplificata dell'intero processo di simulazione del software che può essere rimandata a due famiglie di parametri:

- parametri territoriali;

- parametri progettuali.

La prima famiglia di parametri è rappresentata da tutti i parametri propri del territorio, ed in particolare i parametri meteorologici ed i parametri orografici. E' evidente come tali parametri possano essere assunti costanti nel tempo, per quello che riguarda la parte orografica, e come invece debbano essere considerati variabili nel tempo, anche se affetti da un andamento periodico, i parametri meteorologici.

Questi due parametri, computati in maniera contemporanea, determinano le modalità di diffusione, definendo, ad esempio, i diversi campi di vento a cui è sottoposta l'area in esame nei diversi periodi dell'anno.

La seconda famiglia di parametri, definisce, invece, il quadro "Emissivo" del progetto, ovvero definisce tutti i fattori di emissione relativi alle differenti attività effettuate all'interno del processo realizzativo dell'opera.

Una volta stimate le due famiglie di parametri, il modello di simulazione ne analizza le diverse correlazioni possibili, andando a valutare gli effetti relativi alla presenza della sorgente atmosferica i-esima situata in un'area territoriale e attiva in uno specifico arco temporale, considerando le condizioni meteorologiche relative alla stessa area e nello stesso arco temporale, definendo le curve di isoconcentrazione necessarie alle valutazioni degli impatti dell'opera sui ricettori sensibili.

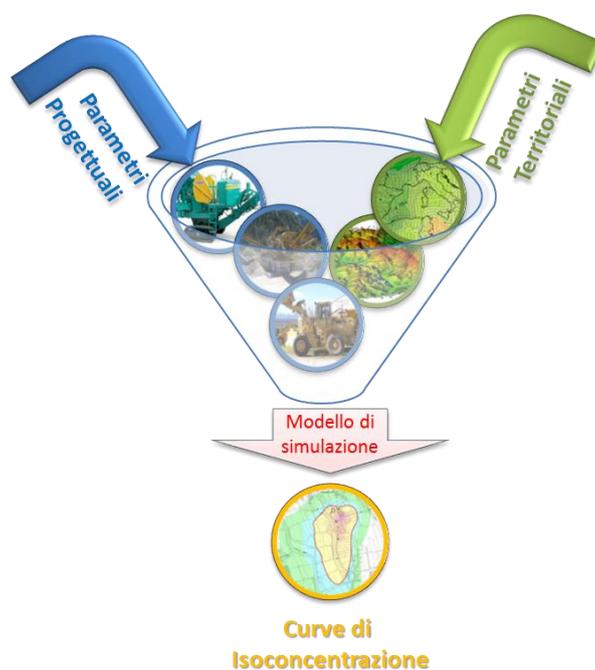


Figura 4-6 - Definizione logica del modello adottato

Al fine di stimare, quindi, le concentrazioni in atmosfera generate dalle attività di cantiere ci si è avvalsi del software di tipo previsionale Aermot View. Tale software consente di effettuare un

mero calcolo matematico e pertanto deve essere applicato in sinergia ad una metodologia che sia al tempo stesso rigorosa e cautelativa.

Devono pertanto essere presi in considerazione tutti i possibili fattori legati alla cantierizzazione, sia in termini ambientali che in termini progettuali. Nello specifico **la metodologia che è stata seguita è quella del "Worst Case Scenario"**.

Tale metodologia, ormai consolidata ed ampiamente utilizzata in molti campi dell'ingegneria civile ed ambientale, consiste, una volta definite le variabili che determinano gli scenari, nel simulare la situazione peggiore possibile tra una gamma di situazioni "probabili". Pertanto il primo passo sta nel definire le variabili che influenzano lo scenario, che nel caso in esame sono le variabili che influenzano il modello di simulazione.

Una volta valutati gli scenari è possibile fare riferimento ad uno o più scenari, ritenuti maggiormente critici, nell'arco di una giornata.

Nel caso in esame, le variabili analizzate sono i parametri orografici che possono essere considerati invarianti rispetto agli n scenari, i parametri meteorologici, che sono variabili nell'arco dell'anno, ma che per periodi superiori possono essere considerati "ciclici" e pertanto, con buona approssimazione, costanti per archi temporali superiori all'annualità, ed in ultimo i parametri progettuali di esercizio, funzione delle differenti attività con particolare riferimento alla tipologia e alla contemporaneità.

Pertanto, fissando l'arco temporale di analisi come annuale, è possibile svincolarsi dai parametri territoriali, i quali risulterebbero costanti, facendo quindi dipendere la realizzazione degli scenari unicamente dai parametri progettuali, considerati variabili nel tempo.

A titolo esemplificativo, al fine di comprendere la logica del processo di simulazione si può fare riferimento allo schema di processo sottostante.

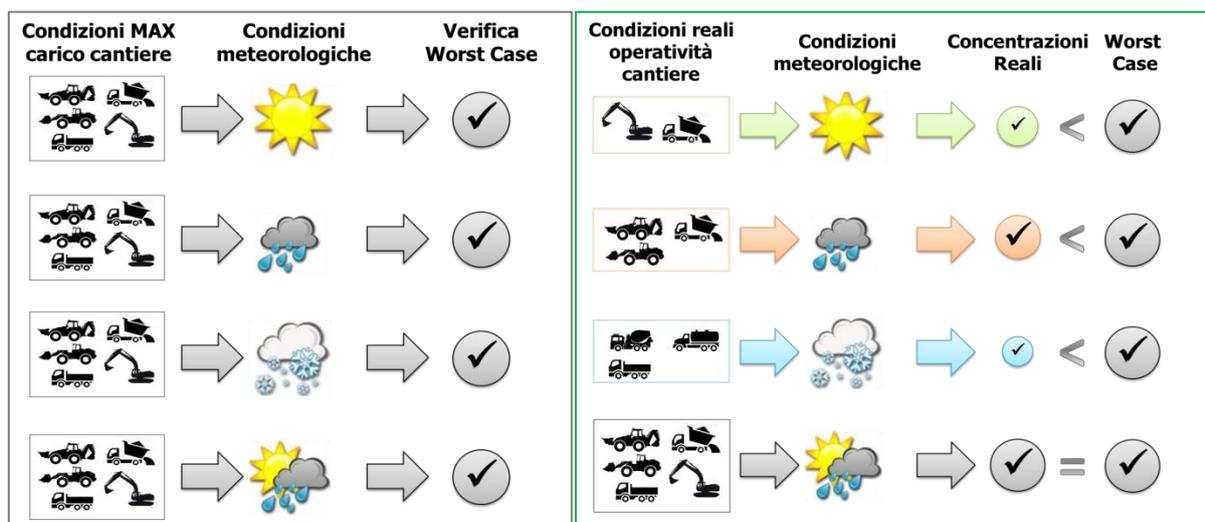


Figura 4-7 - Logica delle verifiche con il *worst case scenario*

Volendo esplicitare la logica della Figura 4-7, dal punto di vista metodologico, occorre simulare lo scenario più critico dal punto di vista atmosferico. E' infatti possibile definire le attività maggiormente critiche all'interno di un singolo cantiere, analizzandone le emissioni, ed assumere che tale attività si svolga per tutta la durata del cantiere. Tale ipotesi risulta molto cautelativa, permettendo di avere elevati margini di sicurezza rispetto anche ai possibili scarti temporali e variazioni meteorologiche che negli scenari futuri sono difficilmente valutabili.

Oltre all'aspetto relativo alla singola attività all'interno del cantiere occorre valutare anche la contemporaneità delle diverse attività in relazione al cronoprogramma del cantiere. Data la specificità del cantiere infatti, si prevedono differenti attività riguardanti diverse squadre i cui effetti devono essere valutati in maniera cumulata al fine di poter giungere alla corretta stima delle interferenze tra i cantieri e l'ambiente circostante.

In ultimo, al fine di poter realizzare gli scenari di analisi occorre definire la tipologia di inquinante considerato. Tale aspetto influenza l'arco temporale di riferimento (ovvero l'intervallo di mediazione di riferimento) con il quale effettuare le verifiche normative e, al tempo stesso, l'operatività del cantiere che deve essere considerata all'interno della metodologia *Worst Case* implementata.

Come meglio verrà esplicitato in seguito, gli inquinanti da tenere in considerazione sono funzione delle attività effettuate all'interno del cantiere. Nello specifico, la metodologia prevede di distinguere due tipologie di cantiere, il primo infrastrutturale e legato alle lavorazioni in cui gli inquinanti sono principalmente correlabili al sollevamento delle polveri a seguito della movimentazione di materiale polverulento. Il secondo, definito cantiere base, che tiene in considerazione le possibili attività correlabili ai cantieri fissi, all'interno dei quali è previsto la movimentazione, stoccaggio e lavorazione di materiale inerte.

Dal punto di vista normativo pertanto, si farà riferimento alle verifiche relative al  $PM_{10}$  considerando così la media giornaliera e la media annua per i cantieri infrastrutturali, mentre si dovrà far riferimento anche agli  $NO_x$  e agli  $SO_x$ , oltre alle polveri, per i cantieri base.

Verificando, quindi, il rispetto di tutti i limiti normativi per il *Worst Case Scenario*, è possibile assumere in maniera analoga il rispetto dei limiti normativi per tutti gli scenari differenti dal peggiore, scenari nei quali, il margine di sicurezza sarà ancora maggiore.