

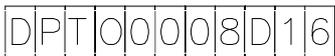
Provincia di Cuneo
S.S. 28 del Colle di Nava
Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir – 564 e al casello A6 "Torino–Savona" – III Lotto (Variante di Mondovì)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. T008

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	MANDATARIA: 	MANDANTI:  
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i>	IL GEOLOGO: <i>Geol. Emanuele Fresia – TECHNITAL Ordine Geologi Veneto n. A501</i>	IL PROGETTISTA: <i>Piccoli Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381</i>
IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Paolo Barrasso – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A9513</i>	IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Edoardo Piccoli – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381</i>	GRUPPO DI PROGETTAZIONE: COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E PROGETTAZIONE STRADALE: <i>Ing. Carlo Vittorio Matildi – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. 6457/A</i> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E COORDINATORE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: <i>Ing. Edoardo Piccoli – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIA: <i>Ing. Corrado Pesce – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A1984</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI PONTI E MINORI: <i>Ing. Stefano Isani – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A4550</i> GEOTECNICA: <i>Ing. Alessandro Rizzo – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A19598</i> IDROLOGIA ED IDRAULICA: <i>Ing. Simone Venturini – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2515</i>
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO: <i>Ing. Giuseppe Danilo Malgeri</i>	PROTOCOLLO:	DATA:

08 – STUDIO D'IMPATTO AMBIENTALE
08.03 – Analisi Ambientale
08.03.01 – Aria : Studio atmosferico

CODICE PROGETTO 	NOME FILE 08.01_T00_IA03_AMB_RE01_B	PROGR. ELAB. 08.01	REV. B	SCALA: -		
	CODICE ELAB. 					
D						
C						
B	ISTRUTTORIA ANAS	Mag. 2020	Technital	Tittonel	Piccoli	Piccoli
A	EMISSIONE	Mar. 2020	Technital	Tittonel	Piccoli	Piccoli
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

ATMOSFERA	1
1 Premessa	1
2 Normativa di riferimento	2
3 Quadro meteo-climatico a scala regionale	3
4 Quadro meteo-climatico nell'area in esame	9
5 Stato di qualità dell'aria nel territorio di interesse	29
6 Sorgenti e recettori	94
7 Emissioni	96
8 Traffico indotto nella fase di cantiere	110
9 Modello di dispersione	112
10 Impatti dell'opera in fase di cantiere	116
11 Impatti dell'opera in fase di esercizio	118
12 Confronto opzione zero/post operam	122
13 Mitigazioni	125
14 Confronto tra le varie alternative di tracciato	126
15 Indicazioni per il monitoraggio ambientale	127
16 Bibliografia	129

ATMOSFERA

1 Premessa

La nuova tangenziale di Mondovì (Cuneo) rientra nel piano di riordino del sistema viario del Piemonte Sud Occidentale. La circonvallazione si svilupperà interamente nel territorio comunale di Mondovì e drenerà il flusso di traffico proveniente dal quadrante Sud-Est collegando la S.S. 28, la S.P. 5 e la S.S. 564 con l'Autostrada A6 Torino-Savona presso lo svincolo di Mondovì.

La progettazione e realizzazione della suddetta arteria stradale è stata suddivisa in 3 lotti funzionali, Figura 3.1, dei quali i primi due sono stati già completati e pienamente operativi, mentre il terzo è oggetto della presente progettazione.

Il lotto n° 3 di cui al presente Progetto Definitivo è lungo 2.667 m circa e, con una direzione sostanzialmente Ovest-Est, assicura a Sud del centro abitato il collegamento fra la S.P. 5 Villanova – Mondovì e la S.S. 28 del Colle di Nava.

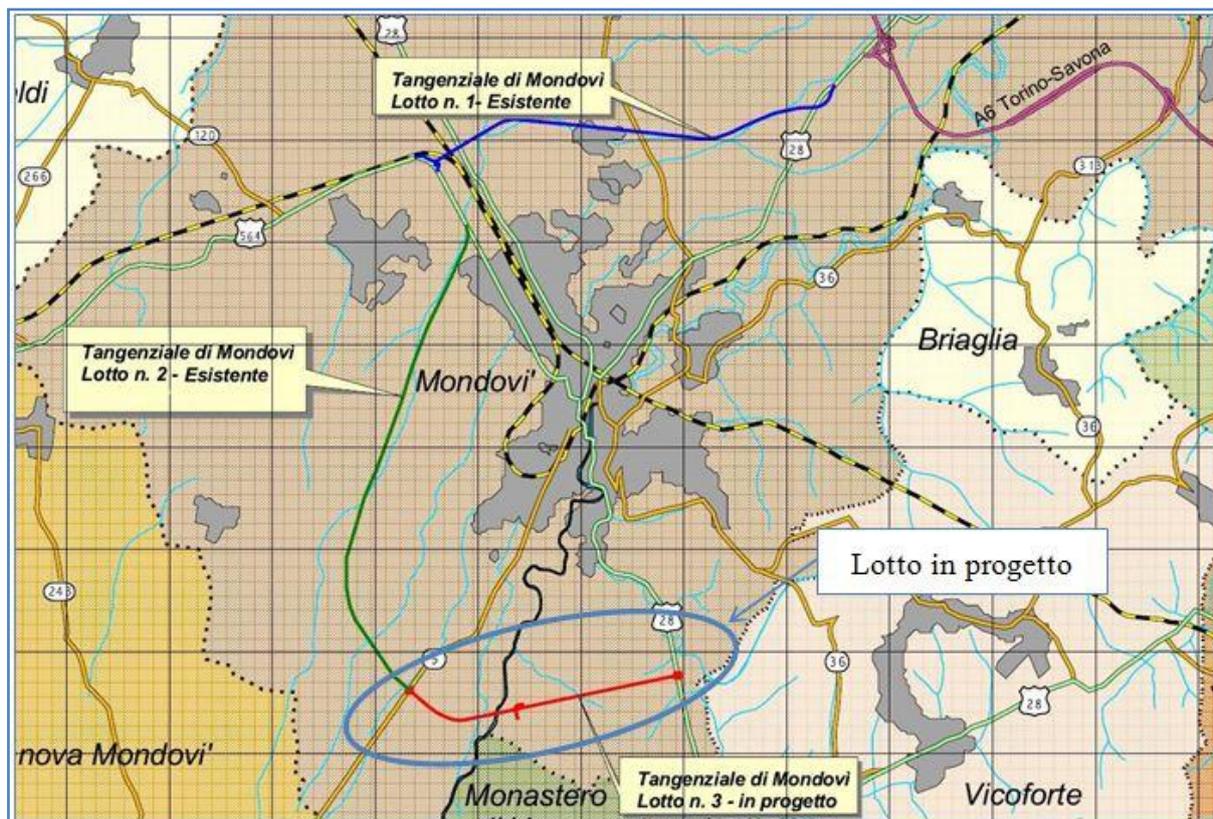


Figura 1.1 Tangenziale di Mondovì. Inquadramento geografico a grande scala

2 Normativa di riferimento

- Norma Quadro D.L. 155/2010
- D.M. Ambiente 29 Novembre 2012
- D.M. 22 Febbraio 2013
- D.M. 13 Marzo 2013
- D.M. 5 Maggio 2015
- D.M. 26 gennaio 2017
- La Legge Regionale n.43/2000 "Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento atmosferico. Prima attuazione del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria."
- D.G.R. 29 dicembre 2014 n. 41-855 con la nuova zonizzazione

La normativa (Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002, così come ripreso dal D.Lgs. 155/10) prevede i seguenti limiti di legge, che verranno utilizzati anche in questo studio come valori di riferimento per valutare gli impatti del progetto:

	normativa		UM	valore concentrazione
PM10				
media 24h	D.Lgs. 155/10		µg/m3	50 (da non superare più di 35 volte per anno civile)
media 8760h	D.Lgs. 155/10		µg/m3	40
PM2,5				
media 8760h	D.Lgs. 155/10		µg/m3	25
NO2				
media 1h	D.Lgs. 155/10		µg/m3	200 (da non superare più di 18 volte per anno civile)
media 8760h	D.Lgs. 155/10		µg/m3	40
NOx				
media 8760h	D.Lgs. 155/10		µg/m3	30 (livello critico per la protezione della vegetazione)
CO				
Media 8h	D.Lgs. 155/10		µg/m3	10.000
C6H6				
media 8760h	D.Lgs. 155/10		µg/Nm3	5

3 Quadro meteo-climatico a scala regionale

La Regione Piemonte presenta un territorio prevalentemente montuoso (73%) caratterizzato dalla muraglia alpina dal lato nord fino a quello sud-orientale, da cui si dipartono valli trasversali alla direzione delle strutture, che sfociano direttamente nell'alveo padano. Tale conformazione favorisce il moltiplicarsi di microclimi. La fascia pedemontana è irrorata da piogge abbondanti e frequenti a causa dei forti dislivelli che impongono alle masse d'aria dirette verso nord-ovest e provenienti da sud-est improvvisi movimenti ascensionali. I rilievi collinari del Bacino Terziario Piemontese, collocati tra il solco dell'Alta Pianura Padana e l'Appennino Ligure, subiscono influenze continentali e mediterranee, mentre nella parte centrale del bacino la maggiore xericità rende prevalente il tipo sublitoraneo padano: a Bra il clima è subumido asciutto temperato con estate calda, ad Asti il clima è tendenzialmente secco, temperato con estate calda, a Casale Monferrato il clima è subumido piovoso temperato con estate moderatamente calda.

Esistono tre regioni di pianura:

- La sud-occidentale cuneese
- La nord-orientale vercellese-novarese
- La sud orientale alessandrina.

Le prime due, pedemontane, seguono la suddivisione classica in alta e bassa pianura, segnata dalla linea delle risorgive. A monte dei fontanili si instaura un ambiente climatico pedemontano, a valle aumentano le condizioni di umidità dell'aria e di nebbiosità invernale. Il regime pluviometrico è di tipo sub-litoraneo padano con due massimi nelle stagioni intermedie e due minimi invernale ed estivo. La variabilità termo pluviometrica all'interno delle pianure si mantiene nel complesso modesta. La pianura cuneese separata dal resto della valle padana assume tratti di maggiore individualità con l'inversione dei massimi di precipitazione annua e la diffusione di biomi più aridi conviventi con piogge relativamente ricche.

Il numero medio annuo di giorni di pioggia in Piemonte varia da un minimo tipico dell'ambiente mediterraneo (50) a un massimo più continentale (circa 140). I valori di precipitazione media annuale variano da 600 a 1800 mm/anno.

La temperatura media annua decresce con la quota generalmente. Nelle aree di pianura la temperatura media mensile supera i 10°C da aprile a ottobre mentre nelle zone montane sopra 500 m il periodo con temperature medie mensili superiori ai 10°C si assottiglia progressivamente fino ad annullarsi sopra i 2000 m.

Precipitazione media annuale (mm)
Media climatologica 1971-2000

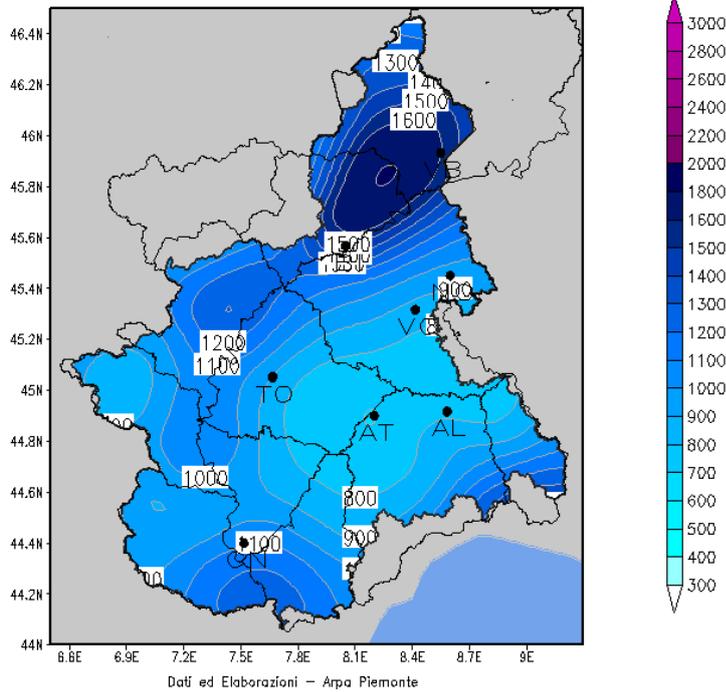


Figura 3.1 Precipitazione media annua (sito ARPA Piemonte)

Temperatura media annuale a 2 m (°C)
Media climatologica 1971-2000

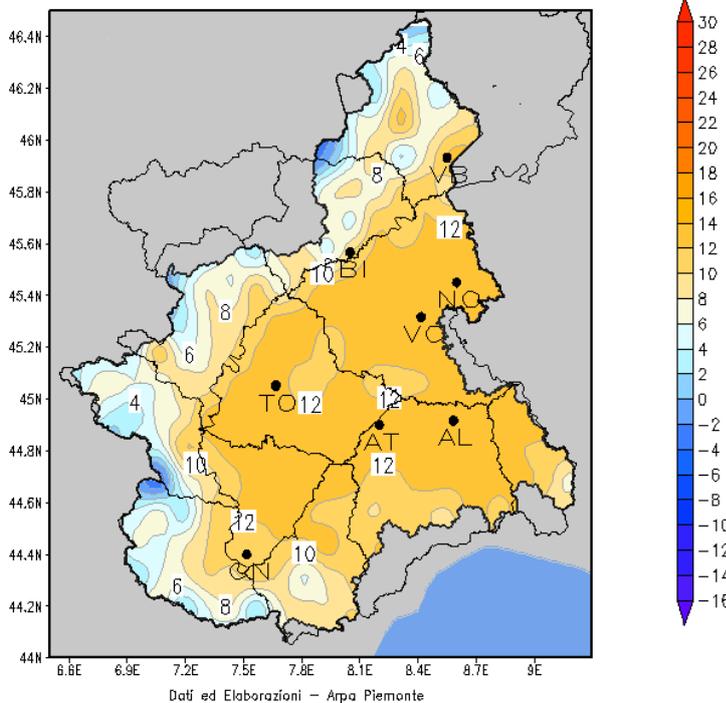


Figura 3.2 Temperatura media annua (sito ARPA Piemonte)

Temperatura minima annuale a 2 m (°C)
Media climatologica 1971–2000

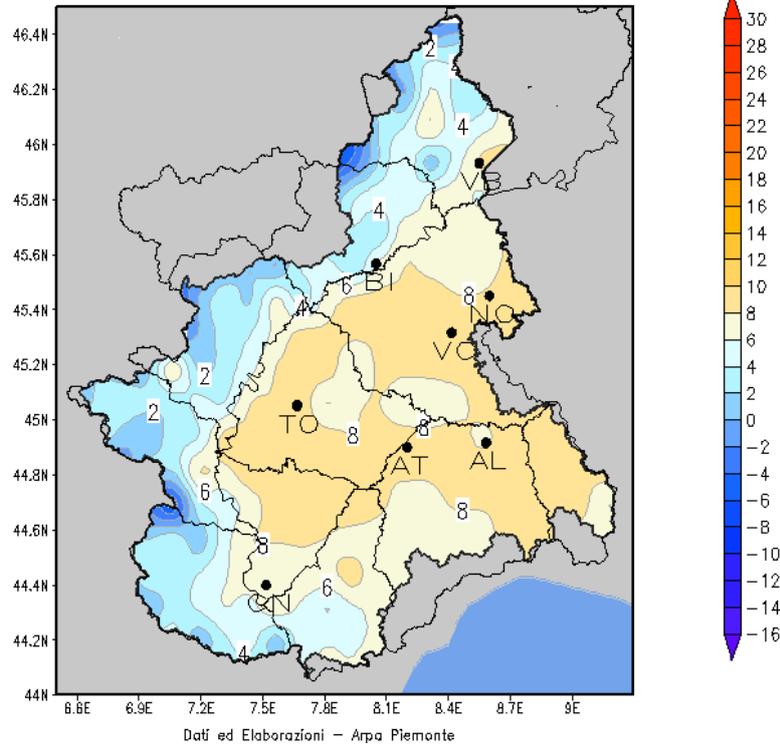


Figura 3.3 Temperatura minima annuale (sito ARPA Piemonte)

Temperatura massima annuale a 2 m (°C)
Media climatologica 1971–2000

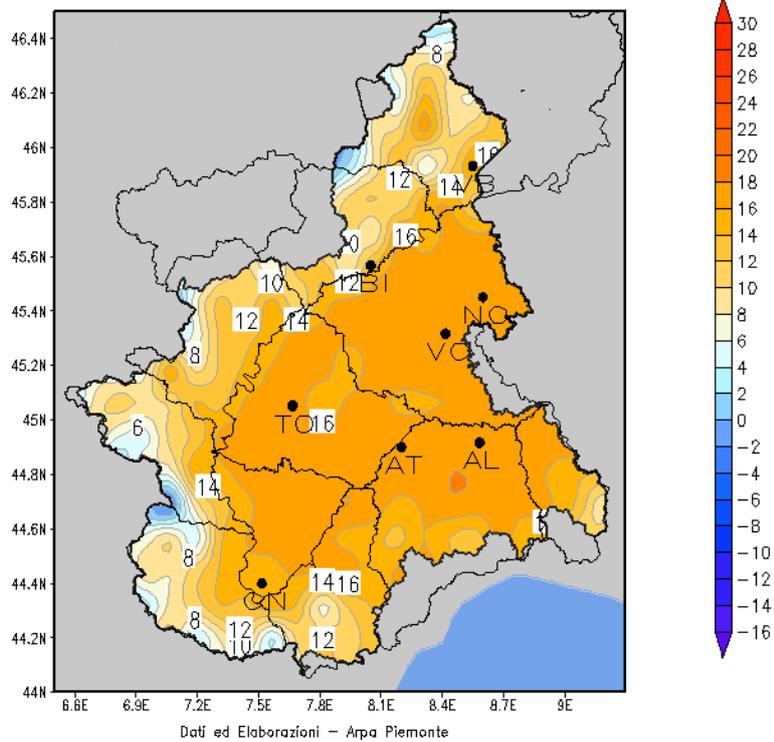


Figura 3.4 Temperatura massima annuale (sito ARPA Piemonte)

Altri indicatori significativi delle condizioni meteo regionali sono i giorni di nebbie. L'indicatore fornisce il numero di giorni nell'anno in cui la visibilità è inferiore a 1000 m per almeno 3 ore consecutive. Vengono inoltre forniti i giorni in cui la visibilità è risultata inferiore a 100 m, condizione di nebbia fitta per la quale il Codice della strada prevede un abbassamento del limite di velocità in autostrada.

NEBBIE - VISIBILITA' <1 KM PER 3 ORE CONSECUTIVE																		
	Torino Caselle		Carmagnola		Alessandria		Govone (CN)		Biella		Cuneo		Novara Cameri		Pallanza (VB)		Vercelli	
	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014
GENNAIO	6,3	1	17,7	14	15,4	9	12,4	5	2,2	0	5,0	3	12,5	5	1,8	1	13,8	6
FEBBRAIO	2,6	1	13,7	8	8,0	8	10,5	9	1,0	1	2,5	0	6,7	2	0,7	0	6,1	5
MARZO	0,7	0	6,3	9	3,3	0	6,3	2	0,3	0	0,8	0	2,5	1	0,5	0	2,4	0
APRILE	0,0	0	3,2	5	0,8	0	3,8	7	0,2	0	0,2	0	0,7	1	0,0	0	0,9	1
MAGGIO	0,0	0	1,2	2	0,8	1	2,0	2	0,2	0	0,0	1	0,7	1	0,0	0	0,0	1
GIUGNO	0,0	0	1,0	0	0,2	0	0,8	0	0,0	0	0,0	0	0,1	0	0,0	0	0,2	0
LUGLIO	0,0	0	0,8	2	0,0	0	0,5	0	0,0	0	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,1	0
AGOSTO	0,1	0	0,9	1	0,1	0	0,6	1	0,0	0	0,2	0	0,1	0	0,0	0	0,1	1
SETTEMBRE	0,0	0	4,4	5	0,9	4	4,6	6	0,2	0	0,2	0	0,4	0	0,2	0	0,4	0
OTTOBRE	0,6	0	16,7	10	8,2	3	13,2	11	0,3	0	0,8	0	4,8	6	0,2	0	4,9	6
NOVEMBRE	4,0	2	16,4	18	10,3	9	13,4	13	1,2	3	3,5	2	8,7	2	0,0	0	8,4	7
DICEMBRE	4,0	4	14,9	15	11,5	14	9,8	12	1,0	0	3,7	2	9,4	9	1,0	1	10,2	11
ANNO	18,3	8	97,2	89	59,5	48	78,0	68	6,5	4	17,0	8	46,6	27	4,3	2	47,5	38

NEBBIE - VISIBILITA' <100 m PER 3 ORE CONSECUTIVE																		
	Torino Caselle		Carmagnola (T)		Alessandria (L)		Govone (CN)		Biella		Cuneo Levaldig		Novara Cameri		Pallanza (VB)		Vercelli	
	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014	2004-2013	2014
GENNAIO	1,1	0	5,2	3	1,4	0	2,0	0	0,0	0	0,3	0	2,0	0	0,0	0	1,3	0
FEBBRAIO	0,2	0	4,6	0	1,6	0	1,7	0	0,0	0	0,1	0	0,9	0	0,0	0	1,2	0
MARZO	0,1	0	0,7	0	0,1	0	0,3	0	0,0	0	0,0	0	0,2	0	0,0	0	0,1	0
APRILE	0,0	0	0,2	0	0,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
MAGGIO	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
GIUGNO	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
LUGLIO	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
AGOSTO	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
SETTEMBRE	0,0	0	0,1	0	0,0	0	0,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
OTTOBRE	0,0	0	2,3	2	0,6	0	2,2	1	0,0	0	0,0	0	0,2	0	0,0	0	0,3	0
NOVEMBRE	0,4	0	3,3	2	1,0	0	0,6	1	0,0	0	0,1	0	0,8	0	0,0	0	0,6	0
DICEMBRE	0,5	1	3,0	2	1,4	0	1,1	0	0,0	0	0,0	0	1,1	0	0,0	0	1,1	0
ANNO	2,3	1	19,4	9	6,2	0	8,2	2	0,0	0	0,5	0	5,2	0	0,0	0	4,6	0

Figura 3.5 Numero giorni nebbia (sito ARPA Piemonte)

L'andamento mensile e stagionale delle direzioni del vento è riportato nelle Figure seguenti. La Regione viene quindi suddivisa in zone a seconda dei diversi regimi direzionali del vento:

- Regime unimodale, caratterizzato dalla presenza di un massimo nella frequenza di provenienza del vento attribuibile per i massimi più accentuati all'incanalamento in valle e per i massimi più deboli ad un condizionamento meteorologico (ad es. Vercelli, Fossano)
- Regime bimodale dovuto principalmente alla canalizzazione di valle del vento come accade in Val di Susa, nell'Ossolano e nel Cuneese ed occupa l'area più vasta nel Piemonte
- Regime trimodale che comprende la zona dell'alto Monferrato.

Per valutare la velocità del vento sono state suddivise le stazioni in classi a seconda della quota di ubicazione: classe A per le stazioni a meno di 500 m di quota, classe B tra 500 e 1000, classe C tra 1000 e 2000 m e classe D per quote superiori a 2000.

Tabella 4.2

STAZIONI	G	F	M	A	M'	G'	L	A'	S	O	N	D	I	P	E	A
Alessandria	SSW	SSW	SSW	NNE	SW	SW	N	N	SW	SW	SW	SW	SW	SW	N	SW
Arquata Scrivia	E	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SW	SW	SW	S	S	S
Avigliana	W	W	W	ESE	ESE	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Baldissero d'alba	S	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	N	NNE	NNE	S	S	S	NNE	NNE	S
Barcenisio	WSW	WNW	SE	S	SE	W	W	W	SE	SE	W	WSW	WSW	W	W	SE
Basaluzzo	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Bauducchi	SE	E	E	E	E	E	E	E	E	E	S	SE	SE	E	E	E
Belmonte	S	SSE	SSE	SE	SE	SE	SE	SSE	SE	SSE	SSE	SSE	SSE	SE	SE	SSE
Bergalli	WNW	WNW	SE	WNW	ESE	WNW	SE	SE	SE							
Borgofranco d'Ivrea	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Borgone	NW	SE	NW	E	ESE	E	E	E	ESE	SE	NW	NW	NW	ESE	E	SE
Bra Museo Craveri	SSE	SSE	SSE	SSE	S	S	S	S	S	SSE	NW	SSE	SSE	SSE	S	S
Bric Bertone	N	N	N	N	N	SE	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Cameri	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Camini Frejus	NE	N	N	N	N	N	N	SW	SW	SW	N	N	NE	N	SW	SW
Capanne di Cosola	E	WSW	W	E	E	W	W	W	WSW	WSW	WSW	W	W	W	W	WSW
Carmagnola	S	S	S	ENE	ENE	NE	NE	NE	NE	SSE	S	S	S	ENE	NE	S
Casale Monferrato	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	SSE	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	N	NNW	NNW
Castellar Ponzano	SSE	SSE	SSE	S	S	S	S	S	S	SSE	SSE	SSE	SSE	S	S	SSE
Clot della Soma	E	E	WSW	WSW	E	WSW	WSW	E	E	N	E	E	E	WSW	WSW	E
Colle Barant	E	E	WSW	WSW	E	WSW	WSW	E	WSW	E	WSW	E	E	E	WSW	WSW
Colle Bercia	SW	W	W	SW	N	SW	NW	NNE	N	SSW	SW	W	SW	N	NW	SSW
Colle Lombarda	N	N	N	N	N	SSE	NW	SSE	SSE	SSE	SSE	N	N	N	SSE	SSE
Colle San Bernardo	NNW	NNW	NNW	SE	SE	SE	SE	NNW	SE	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	SE	NNW
Crea	N	SSW	SE	NW	NE	SSW	SSW	NNE	ESE	SE	N	NNW	NNW	SSW	SSW	ESE
Cumiana	NW															
Domodossola	NE	NE	NE	SW	NE	SW	SW	NE	NE	NE	NE	NE	NE	SW	NE	NE

segue Tabella 4.2

STAZIONI	G	F	M	A	M'	G'	L	A'	S	O	N	D	I	P	E	A
Finiere	WSW	WSW	SW	WSW	SW	WSW	WSW	SW	SW	SSW						
Fossano	SSW	SSW	SSW	S	S	S	S	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	S	S	SW
Gad	W	WSW	ENE	W	WSW	WSW	WSW	ENE	ENE	ENE						
Graviere	SW	NE														
Isola Sant'antonio	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SW	SW	SW	SSW	SW	SSW	SSW	SSW	SSW	SW	SSW
Le Selle	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	E	E	E	E	NNE	NNE	NNE	NNE	E	E
Limone Pancani	SSE															
Mombarcaro	NW	NW	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SSE	NW	NW	NW	NW	SE	SE	NW
Montaldo Scarampi	W	W	W	SSE	SSE	SSE	SSE	W	W	W	W	W	W	W	SSE	W
Monte Fraiteve	E	WNW	WNW	WNW	E	SSW	NW	SSW	WNW	SSW	WNW	W	WNW	WNW	WNW	WNW
Monte Malanotte	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Mottarone	WSW	N	N	N	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SW	N	N	N	SSW	SSW	N
Novi Ligure	S	S	SSE	N	SW	SW	SSE	SSE	SSE							
Oropa	NW															
Passo del Moro	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Pian dei Camosci	SW	SW	NE	SW	SW	NE	NE	NE								
Pietrastretta	WNW															
Pino Torinese	NW	SSE	NW	NW	NW	SSE	SSE	SSE								
Piverone	NW	SSE	SE	SSE	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	N	N
Prarotto	W	W	E	E	E	E	E	E	ENE	ENE	ENE	W	W	E	E	ENE
Prerichard	NNW	NNW	NW	NW	SSE	SSE	SSE	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NW	SSE	NNW
Rifugio Gastaldi	NW	NW	NW	NW	NW	NW	E	E	E	NW	NW	NW	NW	NW	E	NW
Rifugio Mondovì	SE	SE	SSE	SE	N	N	N	N	N	SE	SE	SE	SE	SE	N	SE
Rifugio Vaccarone	W	W	WNW	W	W	WNW	WNW	W	W	W	W	W	W	W	WNW	W
Sardigliano	ENE	ENE	ENE	SSE	E	ENE	SSE	E	E	E	E	E	E	SSE	E	E
Spineto Scrivia	SSE	ENE	S	S	S	S	S	S	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	S	S	SSE
Vercelli	W	NNW	NNE	NNE	NNE	N	N	N	NNE	N	N	N	N	NNE	N	N

Figura 3.6 Direzione vento prevalente calcolato nel periodo compreso tra la data di installazione dei sensori e il 2002.

Tabella 5.1			Classe B		
Classe A	Quota	V (m/s)	Quota	V (m/s)	
FOSSANO	403	2.18	COLLE SAN BERNARDO	980	5.63
BORGONE	400	1.91	MOMBARCARO	896	3.60
BERGALLI	385	1.35	FINIERE	813	2.82
CREA	385	1.45	PONZONE BRIC BERTON	773	3.29
AVIGLIANA	340	1.67	BELMONTE	687	2.13
BORGOFRANCO D'IVREA	337	2.51	PINO TORINESE	608	1.79
CUMIANA	327	1.30	PIETRASTRETTA	520	3.27
ARQUATA SCRIVIA	325	1.37	Classe C		
MONTALDO SCARAMPI	295	2.41	Quota	V (m/s)	
BRA	285	1.18	CAMINI FREJUS	1740	1.82
BALDISSERO D'ALBA	265	0.63	MONTE MALANOTTE	1735	2.94
DOMODOSSOLA	252	1.56	CAPANNE DI COSOLA	1550	5.33
BUON PASTORE	240	0.8	BARCENISIO	1525	1.42
CARMAGNOLA	232	1.11	MOTTARONE	1491	3.40
PIVERONE	230	0.99	PRAROTTO	1440	1.52
SARDIGLIANO	228	2.30	PRERICHARD	1353	1.92
BAUDUCCHI	226	1.36	OROPA	1162	1.99
SPINETO SCRIVIA	187	1.79	GAD	1065	3.74
CAMERI	173	1.59	SALBERTRAND	1010	2.44
NOVI LIGURE	162	1.13	Classe D		
CASTELLAR PONZANO	146	1.88	Quota	V (m/s)	
VERCELLI	132	1.61	PASSO DEL MORO	2820	2.75
BASALUZZO	128	1.44	RIFUGIO VACCARONE	2745	3.11
CASALE MONFERRATO	118	1.75	MONTE FRAITEVE	2701	5.49
ALESSANDRIA LOBBI	90	1.99	RIFUGIO GASTALDI	2659	2.51
ISOLA S. ANTONIO	77	1.89	FORMAZZA	2453	2.53
			COLLE LOMBARDA	2305	2.60
			COLLE BARANT	2294	2.46
			COLLE BERCIA	2200	1.54
			CLOT DELLA SOMA	2150	1.25
			LIMONE PANCANI	2008	2.76
			BOCCHETTA DELLE PISSE	2410	1.64
			LE SELLE	2008	1.94

Figura 3.7 Valore medio intensità del vento nel periodo compreso tra la data di installazione dei sensori e il 2002.

Le classi prevalenti di velocità del vento in Regione Piemonte sono quelle corrispondenti a velocità basse, comprese tra 1 e 1,5 m/s.

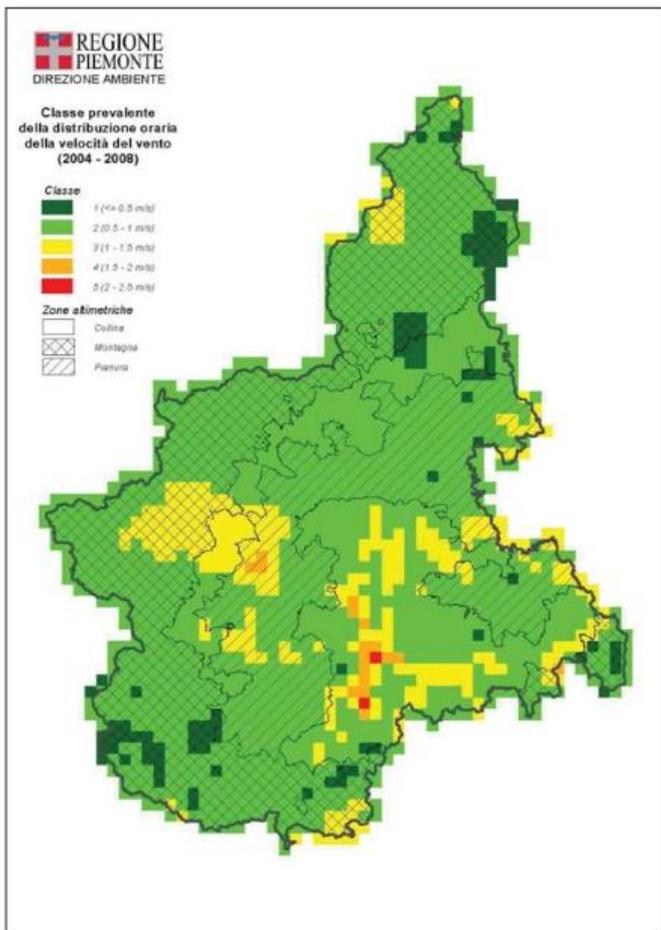


Figura 3.8 Classe prevalente della distribuzione oraria della velocità del vento (Arpa Piemonte)

4 Quadro meteo-climatico nell'area in esame

Il clima dell'area interessata è di tipo continentale con temperature medie annue che si aggirano intorno a 11,2°C, più fredde a gennaio e più elevate in giugno, con escursioni mensili contenute nei mesi invernali e maggiori nel periodo estivo. Gli inverni sono freddi con nebbie e nevicate ed estati calde. Le escursioni termiche annue sono notevoli; le precipitazioni piovose distribuite in tutto l'arco dell'anno, sono più abbondanti in autunno e primavera e caratterizzano un regime pluviometrico sublitoraneo occidentale.

Per la caratterizzazione climatica dell'area si è fatto riferimento ai dati rilevati ed elaborati dalla Regione Piemonte relativi alla stazione meteorologica n. S2891 di Cuneo Camera Commercio (ARPA Piemonte) (quota 550 m s.l.m.) con sensore di pioggia, temperatura, direzione e intensità del vento, alla stazione n. 315 Mondovì (dell'Aeronautica Militare) quota 422 m s.l.m. con sensore di umidità, temperatura, pressione atmosferica, direzione e intensità del vento, copertura e altezza nubi e alla stazione di Fossano (Arpa Piemonte) n. 323 quota 403 m s.l.m. con sensori di pioggia, temperatura, direzione e intensità vento.

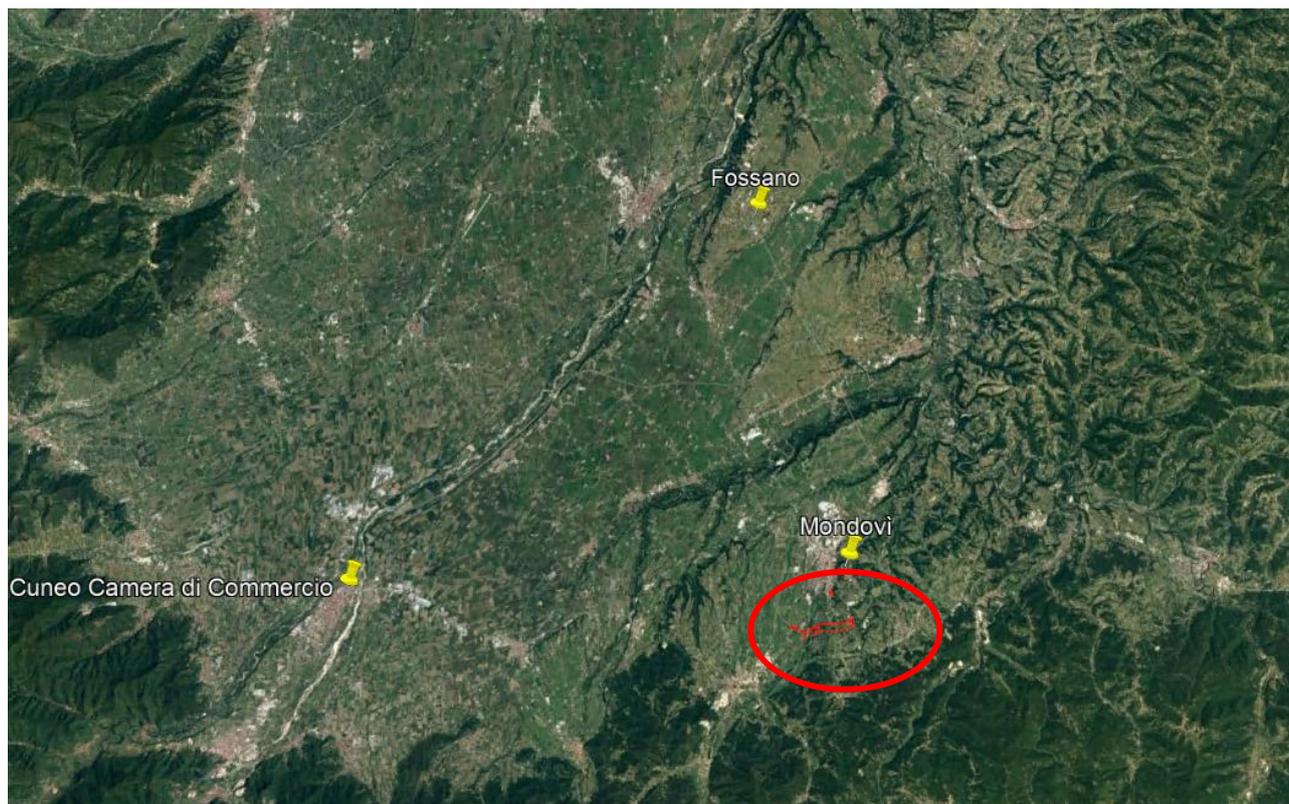


Figura 4.1 - Ubicazione delle stazioni meteo e rappresentazione dell'area di studio

Per valutare lo stato attuale delle condizioni meteo-climatiche dell'area, si è deciso di effettuare un'analisi di dettaglio (attraverso lo studio e l'esame di un anno meteorologico completo) su un'area di estensione 30 x 40 Km, come mostrato nella Figura seguente.

A tale scopo si sono utilizzate le stazioni meteo ARPAV di Cuneo Camera di Commercio e Fossano e la stazione dell'Aeronautica militare di Mondovì relative all'anno 2018, per ricostruire il quadro clima-meteorologico di dettaglio dell'area.

Per l'interpolazione e l'elaborazione delle stazioni meteo di dettaglio si è utilizzato il modello meteorologico diagnostico CALMET, di cui si fa una breve descrizione nel paragrafo successivo.

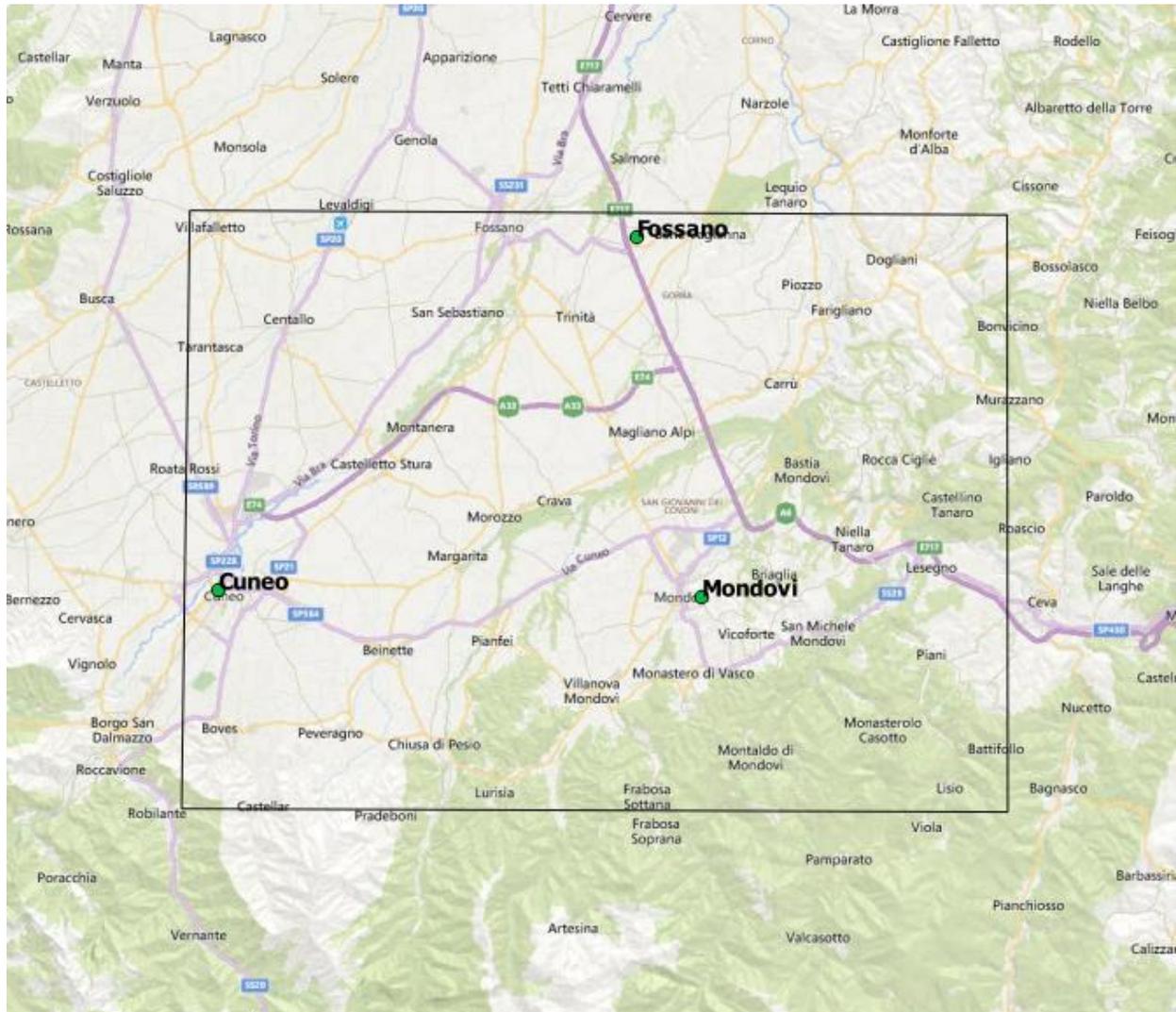


Figura 4.2 – Zona interessata dal modello meteorologico

Modello meteorologico CALMET

CALMET è un modello diagnostico per la ricostruzione dei campi di vento in un volume tridimensionale dello spazio a partire da dati meteorologici rilevati da stazioni sia superficiali che in quota (profili verticali). Le stazioni di misura possono anche essere esterne al dominio di calcolo; il modello è in grado di operare in presenza di orografia complessa e, in caso di disponibilità di dati relativi a superfici acquatiche (mari, laghi...), può valutare gli effetti meteorologici generati dalla presenza di linee di costa all'interno del dominio. I valori meteorologici forniti in input vengono interpolati sul dominio tridimensionale di calcolo secondo criteri descritti nel manuale d'uso del modello stesso ed alle scelte di input dell'utente. Il risultato finale è la generazione di un campo di vento tridimensionale che terrà in considerazione le particolarità orografiche e meteorologiche del dominio di calcolo ed a divergenza nulla indicato quindi come input meteorologico per calcoli di dispersione di inquinanti.

Il modulo diagnostico del campo di vento utilizza una procedura a due fasi per la fabbricazione del campo. La prima fase crea un campo iniziale, basato sui venti sinottici, e lo corregge introducendo gli effetti del terreno sui flussi. In questa fase, dapprima il modello utilizza i venti sinottici per calcolare una velocità verticale forzata dal terreno e soggetta ad una funzione esponenziale di smorzamento dipendente dalla classe di stabilità atmosferica. In secondo

luogo, sono introdotti gli effetti dell'orografia sulle componenti orizzontali del vento mediante l'applicazione iterativa di uno schema di minimizzazione della divergenza sul campo tridimensionale fino al soddisfacimento del vincolo di minima divergenza:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} < \varepsilon$$

Dove u, v sono le componenti orizzontali del vento (x e y), w la velocità verticale ed ε è il valore massimo assegnato alla divergenza.

Dopo averne elaborato gli effetti termodinamici, il campo passa alla seconda fase procedurale che introduce i dati osservati nelle stazioni meteo di riferimento, al suolo ed eventualmente in quota, in modo da ottenere il campo nella sua versione finale. L'introduzione dei dati osservati è effettuata tramite una procedura d'analisi oggettiva. L'attribuzione di pesi, inversamente proporzionali alla distanza tra punto e stazione di misura, garantisce l'ottenimento di un campo che riflette maggiormente le osservazioni in prossimità dei punti di misura e che è dominato dal campo di primo passo nelle zone prive d'osservazioni. Infine, il campo risultante è sottoposto ad un'operazione di smoothing e di ulteriore minimizzazione della divergenza.

Il modello CALMET è infine parte del sistema CALPUFF per la diffusione di inquinanti. Il sistema è costituito da tre modelli principali CALMET, CALPUFF e CALPOST e da un insieme di preprocessori che hanno lo scopo di permettere al sistema l'utilizzazione dei dati di routine Americani sia meteorologici che geofisici. Se tali dati non sono adattabili ai domini di calcolo scelti (come nel caso di domini esterni agli Stati Uniti) occorrerà preparare appositi file di input (con appositi formati).

Il modello CALMET produce una ricostruzione diagnostica oraria tridimensionale del campo di vento e può essere utilizzato sia come input meteorologico al modello di diffusione CALPUFF (e da altri modelli diffusivi) che come modello a sé.

Nel primo caso permetterà di inserire nel calcolo della diffusione le caratteristiche legate alle particolarità specifiche del territorio (orografia complessa, presenza di coste, uso del suolo ...) in quanto tali caratteristiche si ripercuotono sulla meteorologia calcolata. Questo è lo scopo principale del modello e ne rappresenta il modo di utilizzo più efficace.

Nel secondo caso il modello produrrà un campo di vento in formato binario che potrà essere analizzato ed estratto in formato utilizzabile per scopi di rappresentazione grafica.

Nel nostro caso, il dominio meteorologico risulta completamente definito dalle seguenti caratteristiche:

- sistema di coordinate: UTM32, datum WGS84;
- coordinate dello spigolo SW: 382,651 km Est; 4905,812 km Nord
- numero di celle in direzione Est e Nord: 95 x 70
- superficie complessiva: 38km x 28km = 1064 km²
- dimensione della singola cella: 400 x 400 m²
- numero livelli verticali: 7

- quote facce livelli verticali: 20, 20, 100, 200, 500, 1.000, 2.000 msls.

I livelli verticali sono stati dedicati in particolare alla ricostruzione dei flussi negli strati più bassi dell'atmosfera, dove avverranno effettivamente il trasporto e la dispersione delle emissioni (ovvero emissioni areali e diffuse dovute ad attività di cantiere e da traffico attratto e generato).

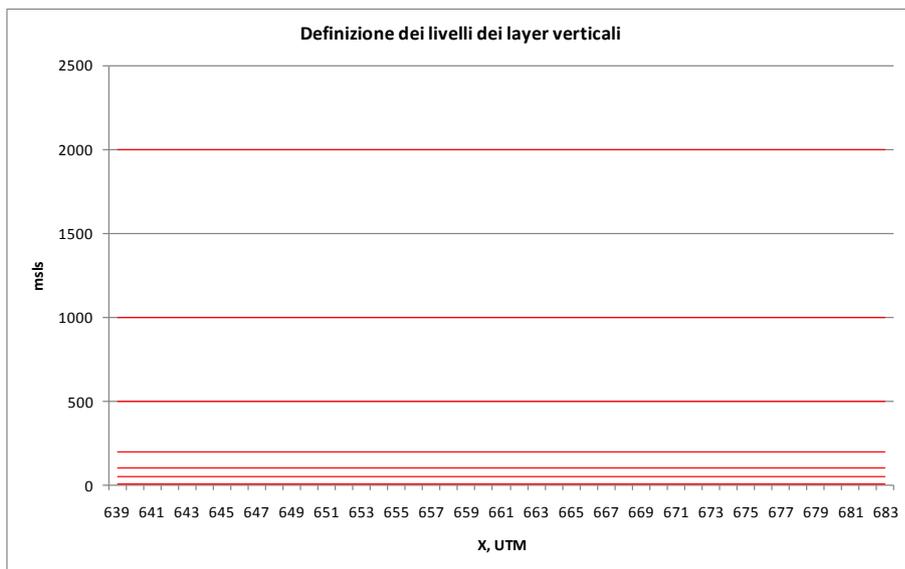


Figura 4.3 – Definizione dei livelli dei layer verticali, considerati nel presente studio

Nelle figure seguenti è rappresentata l'area di studio ed il modello digitale del territorio (DTM) calcolato con CALMET.

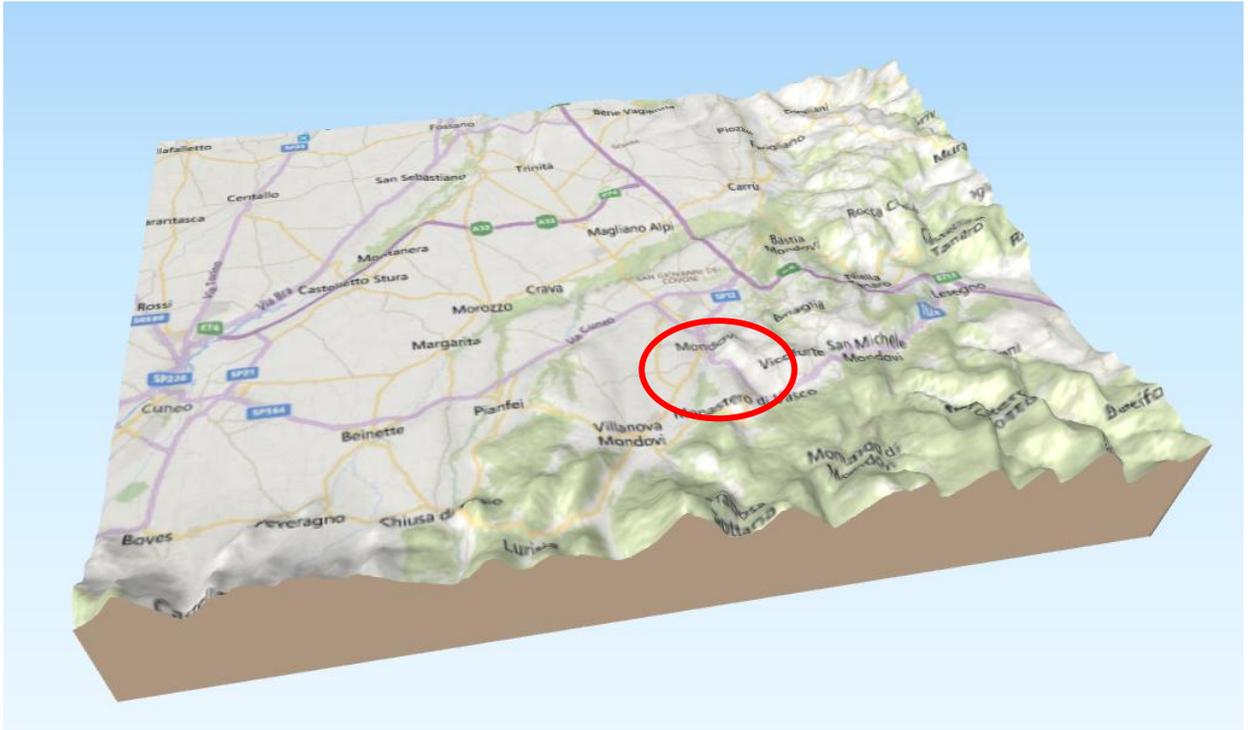


Figura 4.4 –Modello digitale in 3D del territorio dell'area di studio (in rosso la zona di progetto)

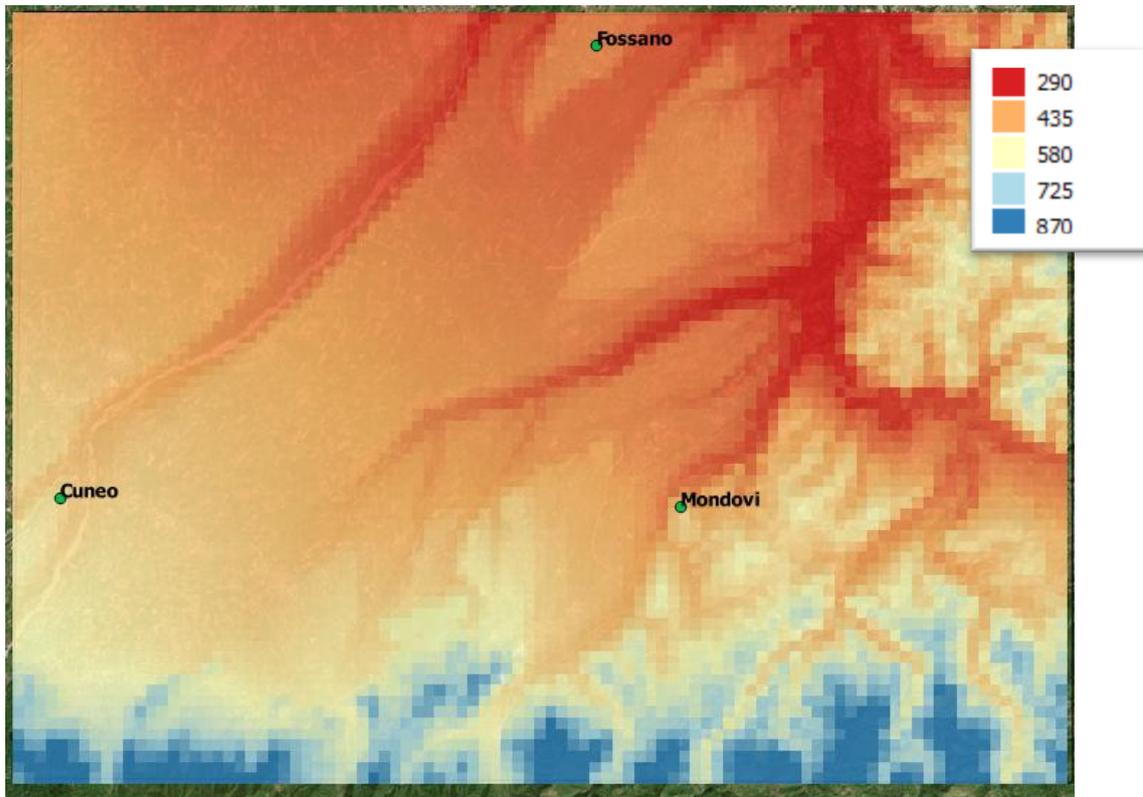


Figura 4.5 –Modello digitale in 3D del territorio dell'area di studio (m s.l.m.)

Descrizione delle principali variabili meteorologiche

Nei paragrafi successivi verranno descritte ed analizzate le principali variabili meteorologiche utili per ricostruire con precisione il quadro climatologico nell'intorno del progetto. Verranno quindi analizzate sia misure dirette sia misure ricostruite attraverso la modellazione matematica di CALMET.

Pressione atmosferica

La pressione atmosferica è la pressione presente in qualsiasi punto dell'atmosfera terrestre. Nella maggior parte dei casi il valore della pressione atmosferica è equivalente alla pressione idrostatica esercitata dal peso dell'aria presente al di sopra del punto di misura. Le aree di bassa pressione hanno sostanzialmente minor massa atmosferica sopra di esse, viceversa aree di alta pressione hanno una maggior massa atmosferica. Analogamente, con l'aumentare dell'altitudine, il valore della pressione decresce. Al livello del mare il volume di una colonna d'aria della sezione di 1 cm² ha un peso di circa 1,03 kg. Ne consegue che una colonna d'aria della superficie di 1 m², pesa approssimativamente 10,3 tonnellate. Il valore della pressione atmosferica varia anche in funzione della temperatura e della quantità di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera e decresce con l'aumentare dell'altitudine, rispetto al livello del mare, del punto in cui viene misurata.

La pressione atmosferica normale o standard è quella misurata alla latitudine di 45°, al livello del mare e ad una temperatura di 15°C, che corrisponde ad una colonna di mercurio di 760 mm. Nelle altre unità di misura corrisponde a:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 760 \text{ torr} = 101.325 \text{ Pa} = 1.013,25 \text{ mbar.}$$

La figura successiva mostra i dati relativi alla pressione atmosferica registrata nella stazione di Mondovì (fonte NOAA).

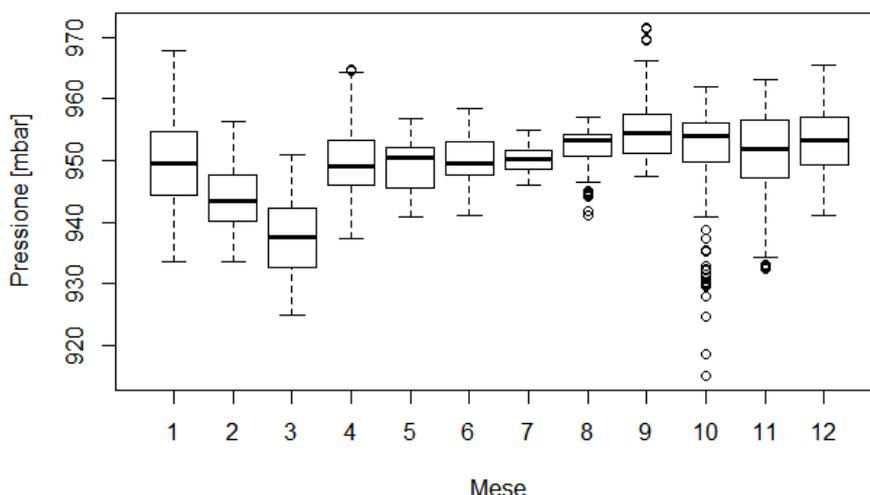


Figura 4.6 - Stazione Mondovì (NOAA) – Boxplot della pressione atmosferica 2018

Si nota che i valori più bassi di pressione si registrano principalmente in primavera ed in, caratterizzati inoltre da una minor variabilità rispetto ai mesi autunno-invernali.

Temperatura

In senso stretto, la temperatura non costituisce una vera e propria grandezza fisica (per esempio non ha senso dire che un corpo ha una temperatura doppia di quella di un altro). La proprietà che il concetto di temperatura intende quantificare può essere ricondotta essenzialmente a una relazione d'ordine fra i sistemi termodinamici rispetto alla direzione in cui fluirebbe il calore se fossero messi a contatto.

La temperatura dell'aria è, quindi, una misura di una serie di fattori che concorrono a determinarne l'effetto finale: la radiazione solare in primis, l'umidità e la presenza di vapore acqueo nell'aria, ecc...

Le figure successive mostrano i dati relativi alla stazione ARPA di Mondovì per il periodo 1994-2018 e dati delle stazioni ARPA di Cuneo Camera di Commercio, Fossano e Mondovì per l'anno 2018.

Il differenziale termico tra le stazioni è minimo e risente principalmente dell'orografia in cui la stessa è posta.

Mediamente i mesi più caldi sono luglio ed agosto e i più freddi gennaio, febbraio e dicembre.

Le temperature medie stagionali per il 2018 sono in linea con la serie storica.

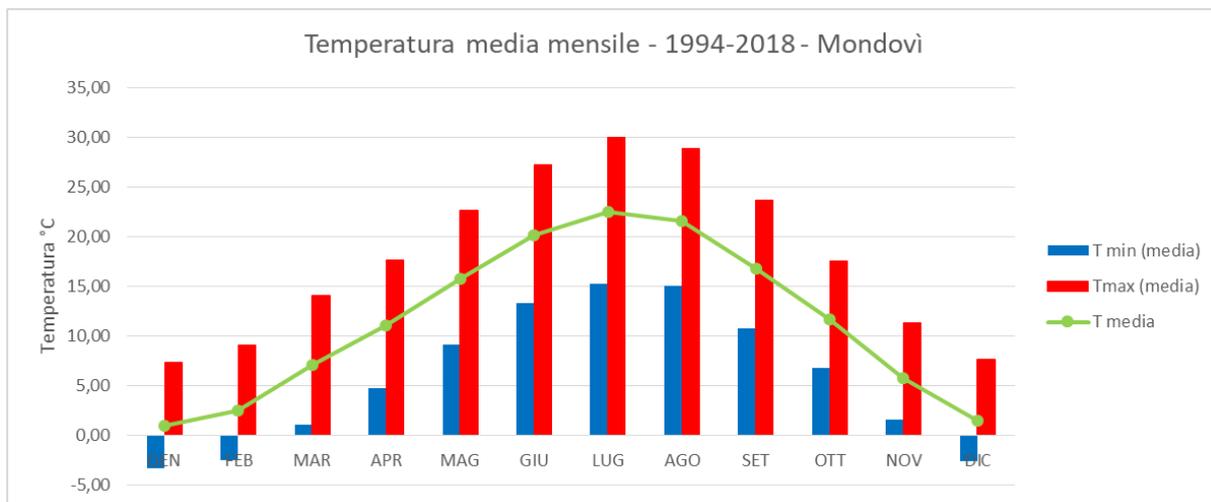


Figura 4.7 - Stazione ARPA Mondovì – andamento della temperatura massima, minima e media mensile dal 1994 al 2018.

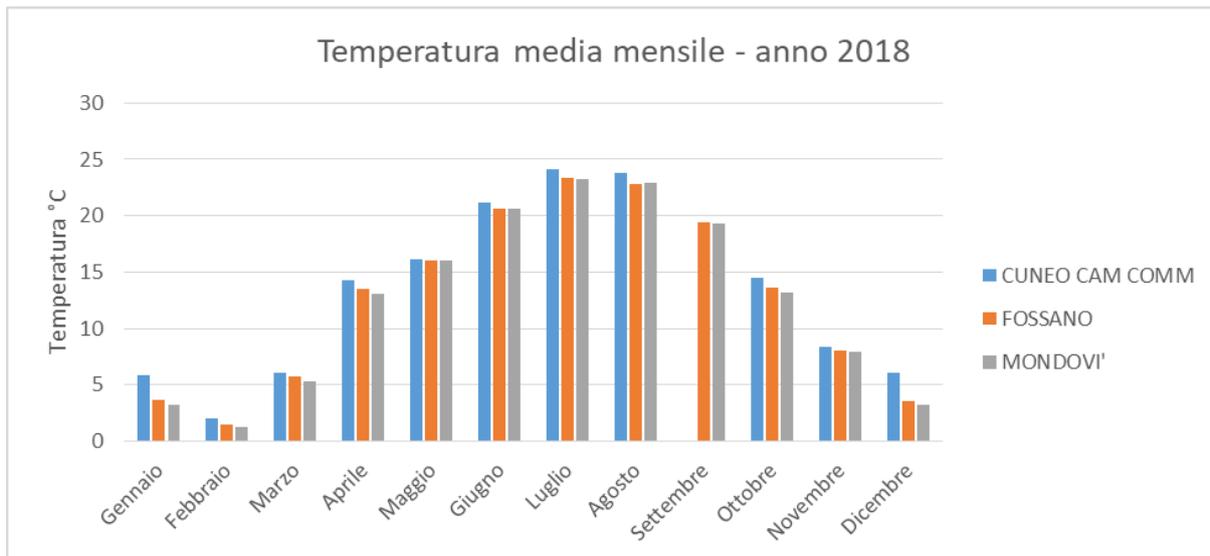


Figura 4.8 - Stazioni meteo ARPA di Cuneo Camera di Commercio, Fossano e Mondovì – andamento delle temperature medie mensile nel 2018.

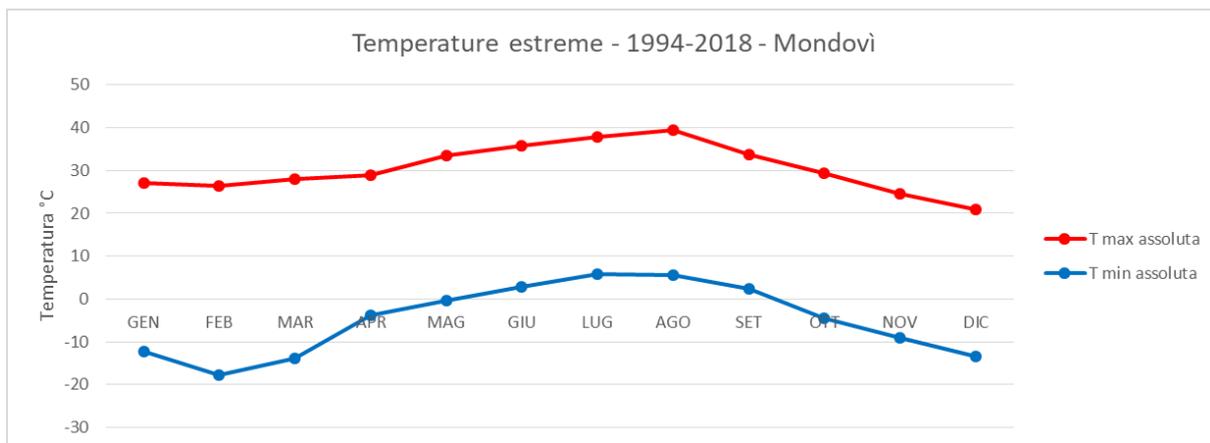


Figura 4.9 - Stazione ARPA Mondovì – andamento delle temperature massime e minime registrate nel periodo dal 1994 al 2018.

Per quanto riguarda l'andamento giornaliero, nella zona di progetto, si nota l'andamento sinusoidale nelle 24 ore: i picchi di temperatura si hanno intorno alle 13 sia in estate che in inverno.

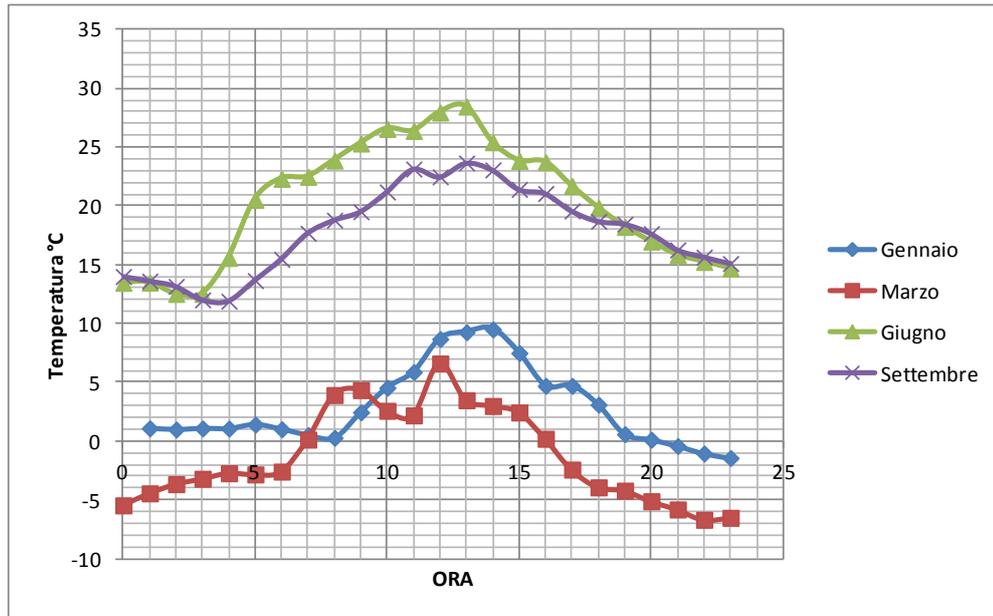


Figura 4.10 - Anno 2018. Calcolo con CALMET, nei pressi dell'area di progetto, dell'andamento giornaliero della temperatura.

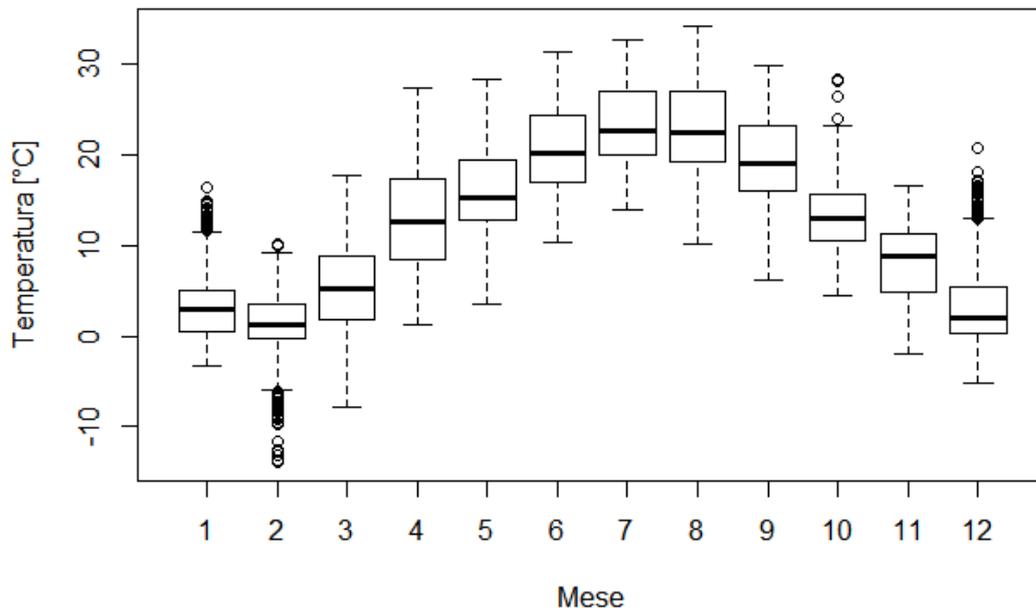


Figura 4.11 - Anno 2018. Box Plot, nei pressi dell'area di progetto, dell'andamento mensile della temperatura, calcolata con CALMET.

Umidità

L'umidità relativa è un valore che indica il rapporto percentuale tra la quantità di vapore contenuto da una massa d'aria e la quantità massima (cioè a saturazione) che il volume d'aria può contenere nelle stesse condizioni di temperatura e pressione. Alla temperatura di rugiada l'umidità relativa è, per definizione, del 100%. L'umidità relativa è un parametro dato dal rapporto tra umidità assoluta e l'umidità di saturazione. È svincolato dalla temperatura e dà l'idea del tasso di saturazione del vapore atmosferico, e delle ripercussioni sui fenomeni evapotraspirativi delle colture. Il deficit di saturazione è dato dalla differenza tra umidità assoluta e umidità di saturazione.

I valori elevati di umidità relativa (unitamente a basse temperature) sono i maggiori responsabili della formazione delle nebbie.

Le figure successive mostrano dati relativi alla stazione di Mondovì per il periodo 1994-2018, e dati delle stazioni ARPA Fossano e Mondovì per l'anno 2018.

Per quel che riguarda la serie storica (Mondovì), i valori massimi sono registrati nel trimestre da ottobre a dicembre, e sono prossimi all' 85%. L'umidità relativa resta comunque elevata anche nella restante parte dell'anno, con valori mensili medi superiori al 70%.

Per quanto riguarda i dati osservati nel 2018 si discostano poco dalle serie storiche, soprattutto per quel che riguarda i valori medi.

Il differenziale tra le stazioni è minimo e risente principalmente della latitudine e dell'orografia in cui la stessa è posta. È evidente che i valori più elevati si riscontrano nel periodo invernale, con lievi differenze a seconda della zona. Il 2018, rispetto alla serie storica, è caratterizzato da un Febbraio ed un Maggio particolarmente umidi.

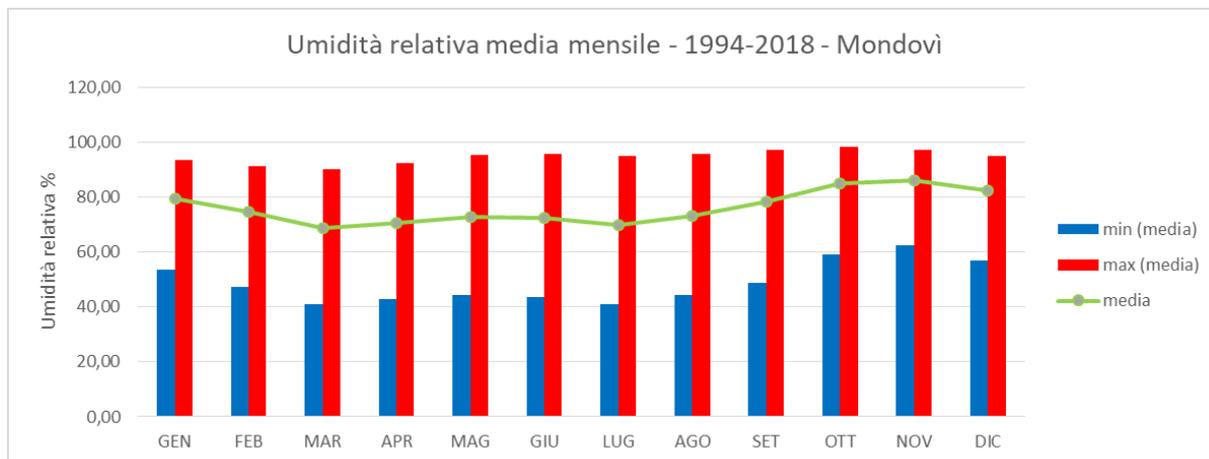


Figura 4.12 - Stazione ARPA di Mondovì – andamento dell'umidità relativa media mensile dal 1994 al 2018

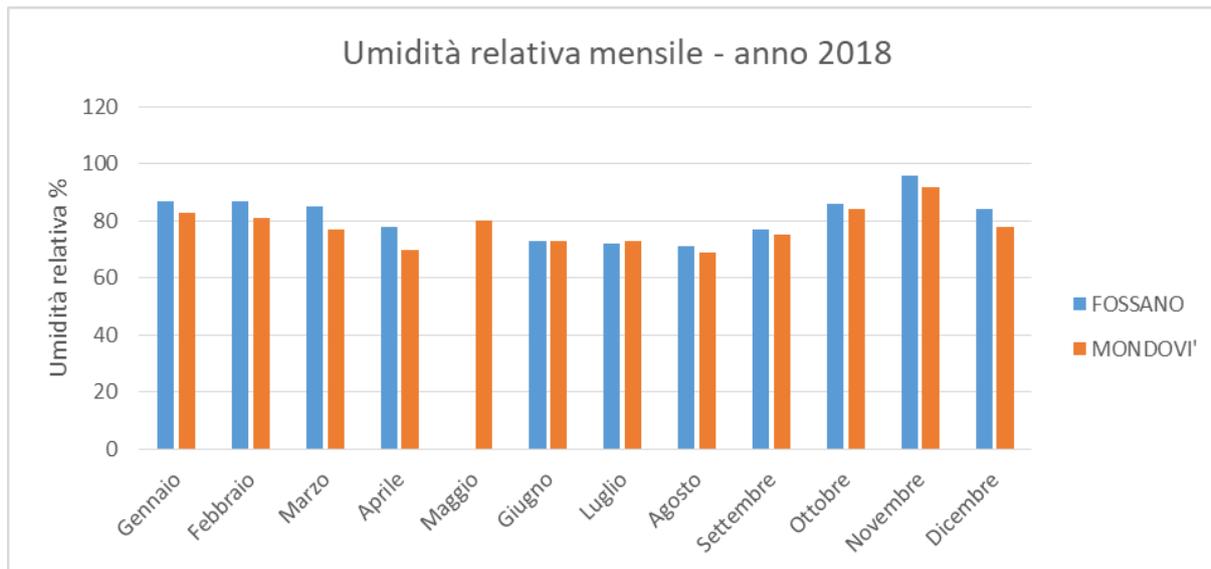


Figura 4.13: Stazioni meteo ARPA di Fossano e Mondovì – andamento dell'umidità relativa media mensile nel 2018.

Altezza delle nubi

L'altezza della base delle nubi è la misura fisica (in metri sul livello del suolo) della base del nembo cumuliforme presente in quel momento. Può essere una misura diretta oppure può essere ricavata tramite calcolo partendo dai valori di temperatura e di umidità relativa.

La figura successiva mostra i dati relativi alla stazione (Aeronautica Militare) di Mondovì per l'anno 2018. Nel calcolo della media non sono stati considerati i giorni caratterizzati da assenza di nubi. I valori sono minori nei mesi autunno-invernali, caratterizzati da basse temperature ed elevati valori di umidità, mentre raggiungono 1400 m circa nei mesi primaverili-estivi.

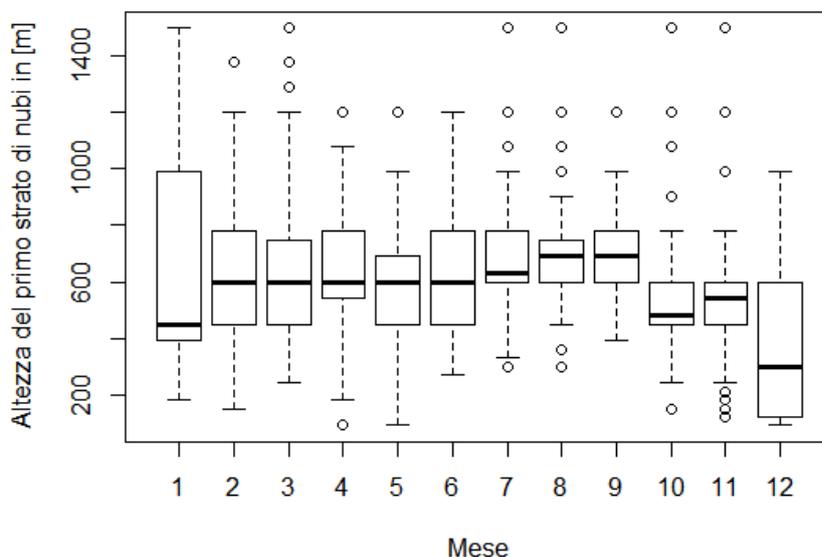


Figura 4.14 - Stazione Mondovì (aeronautica militare) – Boxplot andamento medio mensile dell’altezza delle nubi per l’anno 2018.

Piuvosità

La pioggia è la forma più comune di precipitazione atmosferica e si forma quando gocce separate di acqua cadono al suolo da delle nuvole. Una parte della pioggia che cade dalle nuvole non riesce a raggiungere la superficie ed evapora nell'aria mentre cade, specialmente se attraversa aria secca.

L'ammontare della pioggia caduta si misura in millimetri: una precipitazione di 1 mm equivale a dire che su una qualunque superficie si è depositata una quantità di acqua uniformemente alta 1 mm. La misura è indipendente dalla grandezza della superficie considerata.

Le figure successive mostrano i dati relativi alla stazione di Mondovì per il periodo 1994-2018 e dati delle stazioni ARPA di Cuneo Camera di Commercio, Fossano, Monte Malanotte e Mondovì per l’anno 2018.

Il numero di giorni di pioggia evidenzia la maggiore frequenza primaverile ed autunnale dei fenomeni, presenti in forma di eventi dalla durata prolungata e dall’intensità non particolarmente elevata. Tali periodi temporali contribuiscono alla precipitazione totale annua con i maggiori contributi mensili, pari a circa 100 mm/mese ad aprile e maggio e 120 mm/mese a novembre.

Per quel che riguarda il raffronto tra la serie storica ed i dati relativi al 2018, si può vedere come quest’ultimo anno sia stato caratterizzato da un’elevata piovosità, specialmente tra gennaio e maggio ed ottobre, ampiamente al di sopra delle medie storiche, così come i mesi di agosto, settembre e dicembre del 2018 sono stati molto più secchi rispetto a quanto evidenziato nella serie storica.

Il differenziale tra le stazioni è minimo nei mesi invernali, mentre risulta significativo nei restanti periodi dell’anno.

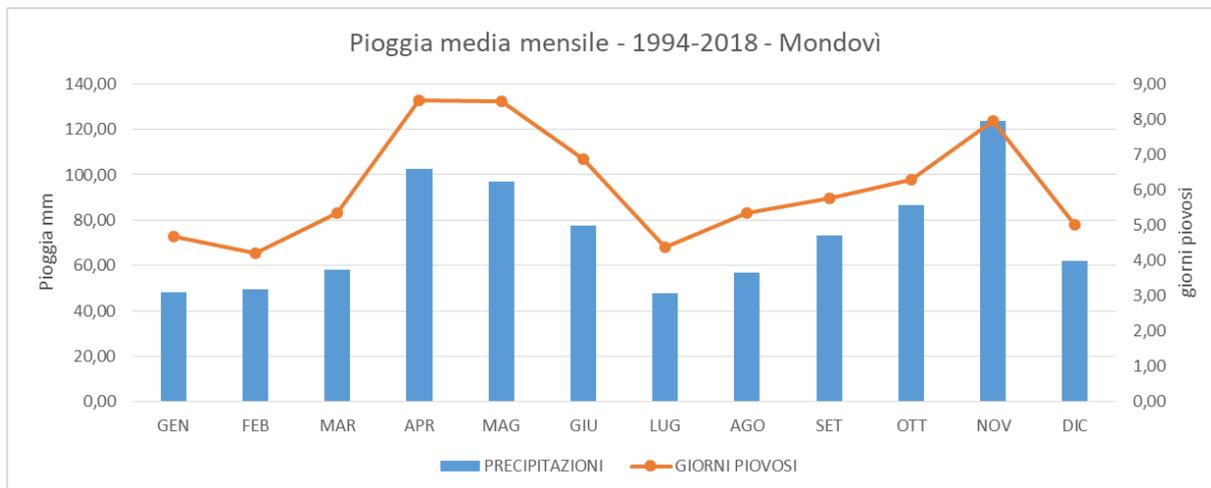


Figura 4.15 Stazione ARPA Mondovì – andamento della precipitazione cumulata mensile e il numero di giorni piovosi dal 1994 al 2018.

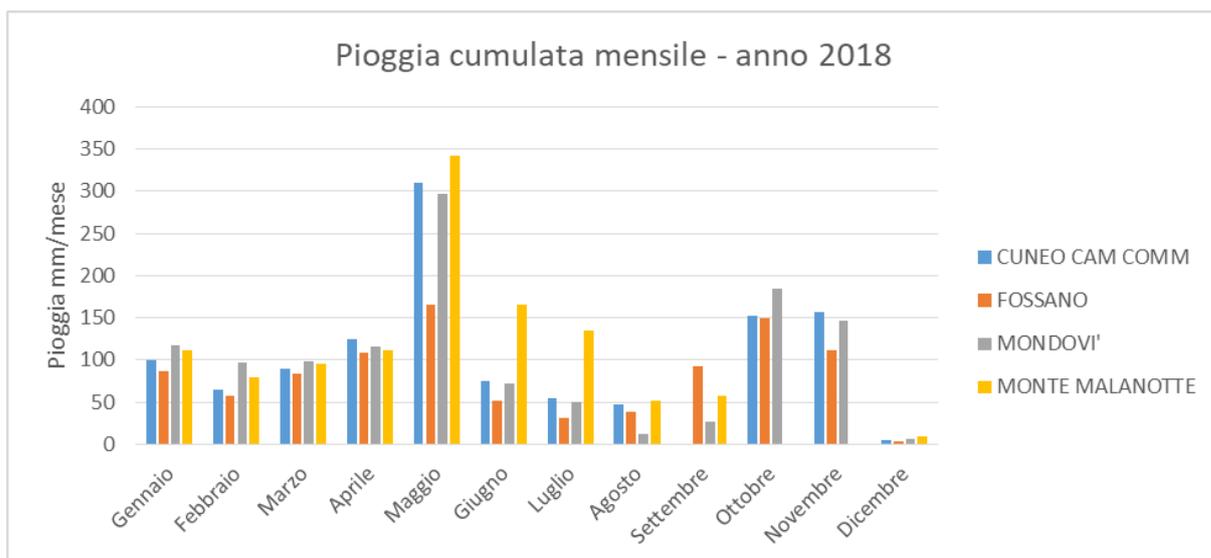


Figura 4.16: Stazioni meteo ARPA di Cuneo Camera di Commercio, Fossano, Monte Malanotte e Mondovì – pioggia cumulata mensilmente nel 2018.

Radiazione solare globale

La radiazione solare è l'energia radiante emessa dal Sole a partire dalle reazioni termonucleari di fusione che avvengono nel nucleo solare e producono radiazioni elettromagnetiche.

I flussi di radiazione di maggior interesse meteorologico sono:

radiazione globale;

radiazione diffusa;

radiazione diretta;
radiazione riflessa;
radiazione netta.

La radiazione globale viene definita come la somma della radiazione misurata a terra su un piano orizzontale proveniente direttamente dal Sole e quella diffusa dal cielo (atmosfera). I rapporti tra le due componenti sono in relazione alle condizioni atmosferiche. La radiazione globale deve essere sempre inferiore a quella massima teorica calcolata al di fuori dell'atmosfera ma può essere, al limite, uguale ai valori massimi teorici calcolati tenendo conto dell'atmosfera.

La radiazione diffusa è la componente, misurata su un piano orizzontale, della radiazione solare che arriva a terra non direttamente dal Sole ma per effetto dell'atmosfera (gas, nubi, ecc.).

La radiazione diretta è la radiazione proveniente solo direttamente dal Sole.

La radiazione riflessa è la radiazione solare riflessa da una superficie entro la banda 0,3 - 3 mm. Il rapporto tra la radiazione riflessa e la radiazione globale dà l'albedo.

La radiazione netta è la differenza tra la radiazione proveniente dal cielo e quella in arrivo dalla superficie in esame nella banda 0,3 - 60 mm.

La figura successiva mostra i dati relativi alle stazioni ARPA di Cuneo Camera di Commercio e Fossano per l'anno 2018.

Il differenziale tra le stazioni considerate è minimo.

I mesi con i valori più alti del 2018 sono quelli estivi: giugno, luglio ed agosto.

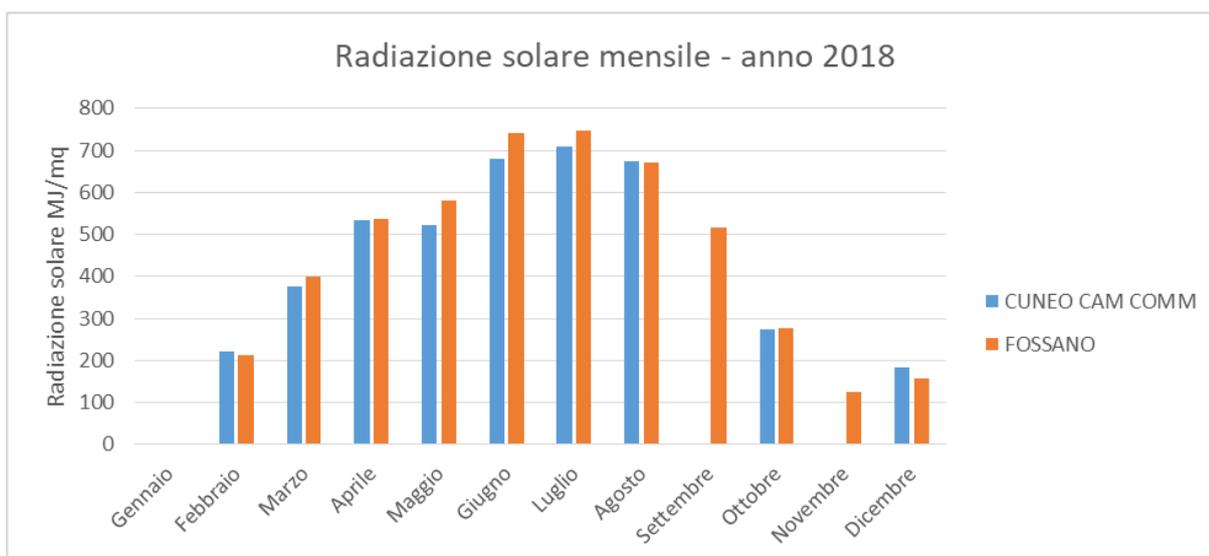


Figura 4.17: Stazioni meteo ARPA di Cuneo Camera di Commercio e Fossano – radiazione solare, cumulo mensile, nel 2018.

Vento e anemologia

Il vento è l'esito di moti convettivi ed advettivi di masse d'aria.

Il vento è un fenomeno naturale che consiste nel movimento ordinato, quasi orizzontale, di masse d'aria dovuto alla differenza di pressione tra due punti dell'atmosfera. Per questo motivo, solitamente, la componente orizzontale del vettore intensità del vento è un ordine di grandezza (o più) maggiore rispetto alla componente verticale.

In presenza di due punti con differente pressione atmosferica si origina una forza detta forza del gradiente di pressione o forza di gradiente che agisce premendo sulla massa d'aria per tentare di ristabilire l'equilibrio. Il flusso d'aria non corre in maniera diretta da un punto all'altro, cioè con stessa direzione della forza di gradiente, ma subisce una deviazione dovuta alla forza di Coriolis che tende a spostarlo verso destra nell'emisfero settentrionale e verso sinistra nell'emisfero meridionale. A causa di questo effetto il vento soffia parallelamente alle isobare. In questo caso si parla di vento geostrofico. Tuttavia alle basse quote (meno di 600 m) è necessario tenere anche conto delle variabili micro meteorologiche come ad esempio l'azione dell'attrito con la superficie terrestre; tale azione è infatti in grado di modificare la direzione del vento di circa 10° sul mare e 15-30° sulla terra rispetto a quella del vento geostrofico, rendendo il percorso dall'alta pressione alla bassa pressione più diretto. La velocità del vento, o meglio la sua intensità, dipende dal gradiente barico, cioè dalla distanza delle isobare.

In via del tutto generale l'intensità del vento aumenta con l'aumentare della quota sul livello del suolo.

Le figure successive mostrano i dati delle stazioni ARPA di Cuneo Camera di Commercio, Fossano e Monte Malanotte per l'anno 2018.

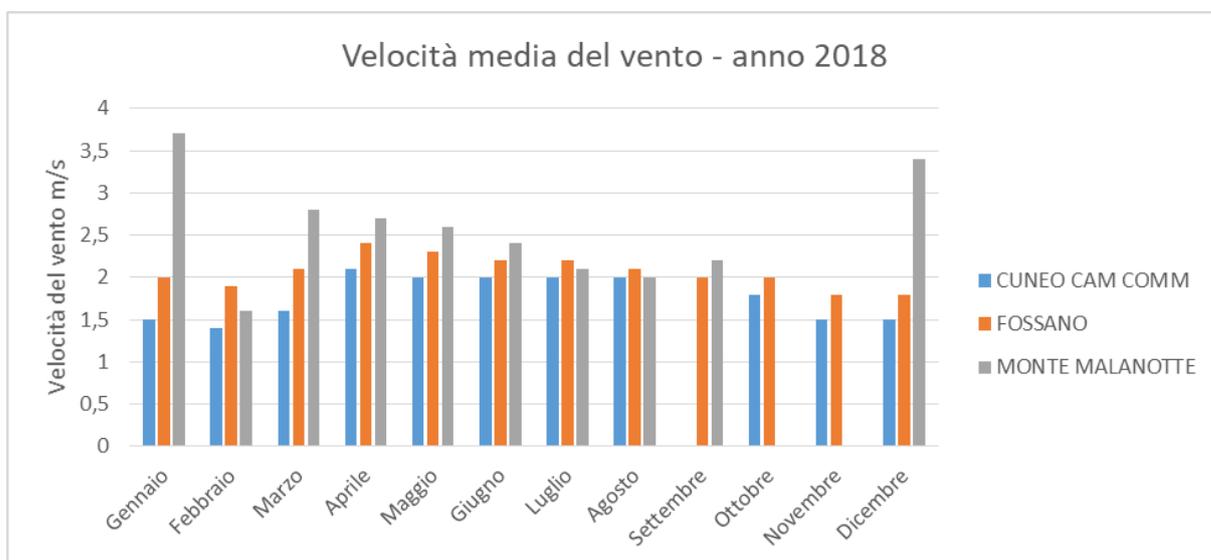
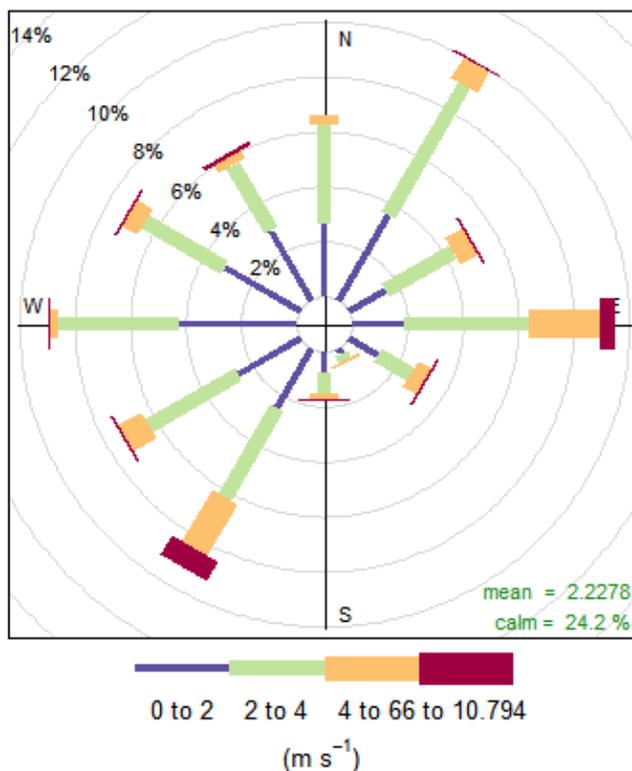


Figura 4.18: Stazioni meteo ARPA di Cuneo Camera di Commercio, Fossano e Monte Malanotte – velocità medie mensili, per l'anno 2018.

Per la stazione di Mondovì la rosa dei venti mostra una direzione prevalente N-E verso S-O con venti talvolta intensi anche da est.



Frequency of counts by wind direction (%)

Figura 4.19: Rosa dei venti per la stazione di Mondovì

Classi di frequenza del vento

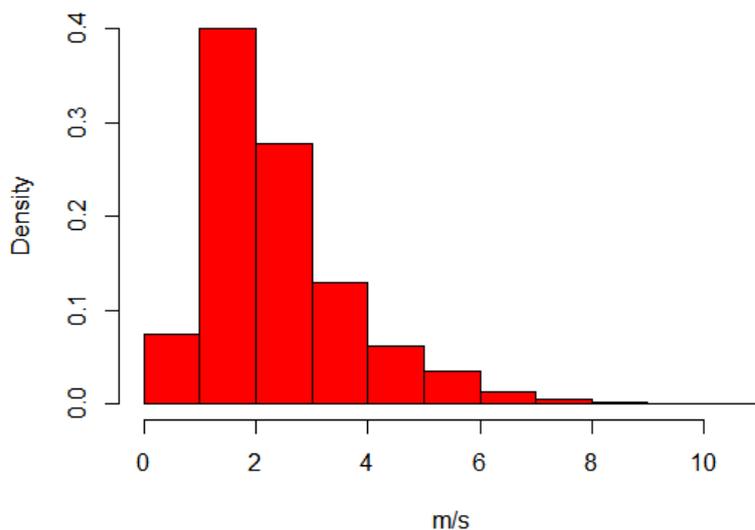


Figura 4.20: Classi di frequenza vento stazione Mondovì

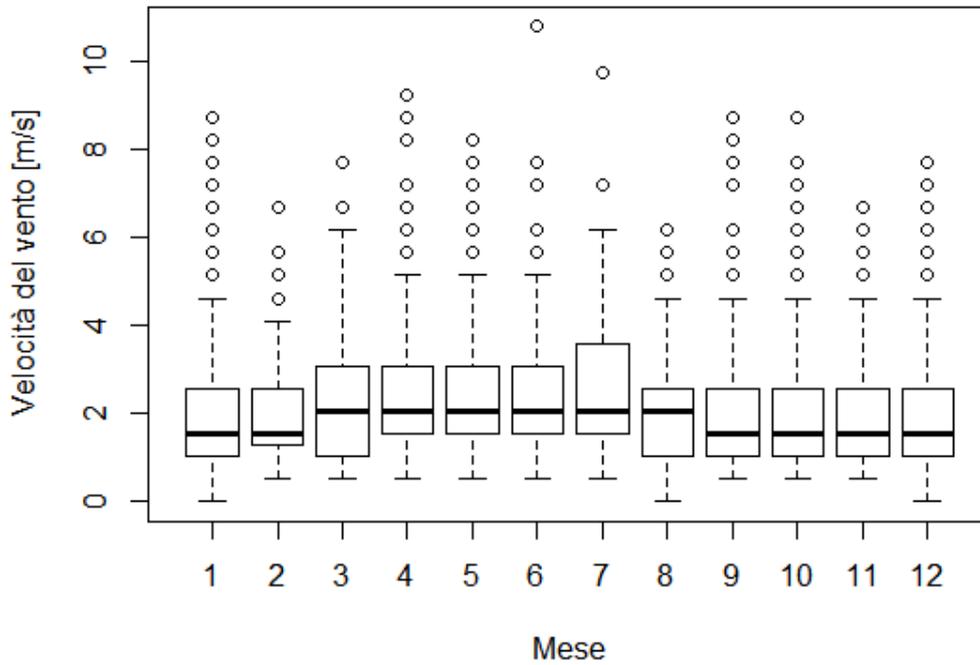


Figura 4.21: Boxplot velocità del vento stazione Mondovì

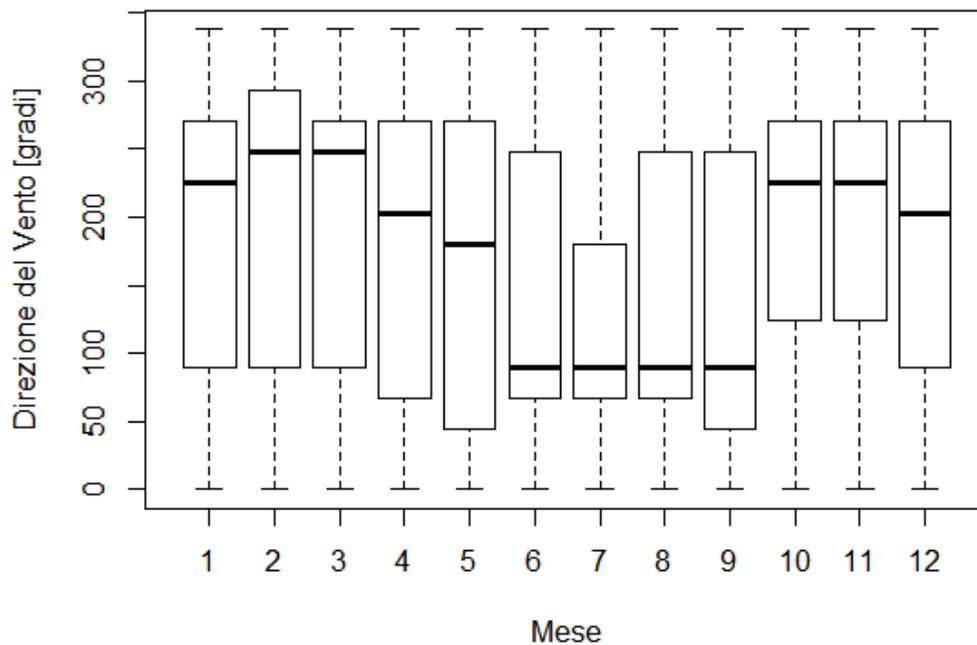


Figura 4.22: Boxplot direzione del vento stazione Mondovì

Altezza dello strato limite o di rimescolamento

La capacità dispersiva dell'atmosfera è influenzata soprattutto dall'altezza del cosiddetto strato limite. Lo strato limite o di rimescolamento è la porzione dell'atmosfera in cui il gradiente di temperatura potenziale è all'incirca nullo, e dove si instaura una circolazione ad area limitata di grandi strutture coerenti che lo rimescolano costantemente e completamente, consentendo tra l'altro la dispersione degli inquinanti ed il trasporto in quota del vapor d'acqua per la formazione delle nuvole.

Beyrich nel 1997 così definiva l'altezza di rimescolamento: "... è l'altezza di quello strato di atmosfera adiacente al suolo in cui gli inquinanti o ogni altro costituente emesso nel suo interno o inglobato per entrainment diviene ben rimescolato o per convezione o per turbolenza meccanica con un tempo di scala dell'ordine dell'ora."

Visto questo, ecco perché diventa fondamentale determinare con una certa precisione l'altezza dello strato di rimescolamento, visto che, a fini modellistici, rappresenta il "volume di controllo" entro cui avvengono la totalità dei fenomeni dispersivi.

L'altezza dello strato limite è influenzata dalla turbolenza meccanica e convettiva. Non potendo essere misurata direttamente, viene stimata al variare di alcuni parametri fondamentali: dalla latitudine, dalla velocità del vento, dalla radiazione solare, dalla rugosità del suolo e dal flusso turbolento di calore al suolo.

Nella figura successiva è mostrato il risultato del calcolo effettuato con CALMET, nell'area di interesse, dell'andamento giornaliero dell'altezza di rimescolamento al variare del periodo considerato.

Si nota che, in via generale, l'altezza dello strato limite è minima nelle ore notturne, ovvero quando la radiazione solare è nulla.

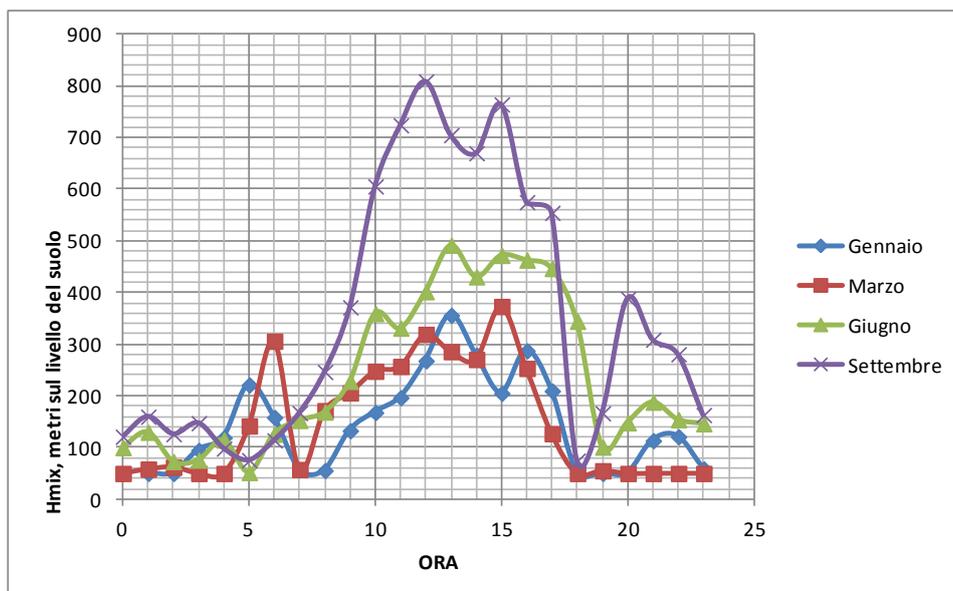


Figura 4.23: Anno 20168 Calcolo con CALMET, nei pressi del progetto, dell'andamento giornaliero dell'altezza dello strato limite.

Classi di stabilità

Le classi di stabilità atmosferica sono un metodo di classificazione della stabilità atmosferica creato da Frank Pasquill, in cui la turbolenza atmosferica viene suddivisa in sei categorie di stabilità (A, B, C, D, E, F) dove la categoria A è la più instabile e quella F la più stabile.

Classe di stabilità	Definizione	Classe di stabilità	Definizione
A	molto instabile	D	neutrale
B	instabile	E	leggermente stabile
C	leggermente instabile	F	stabile

Dal modello CALMET è possibile valutare le classi di stabilità nella zona di interesse.

Frequenza CLASSI STABILITA' PASQUILL

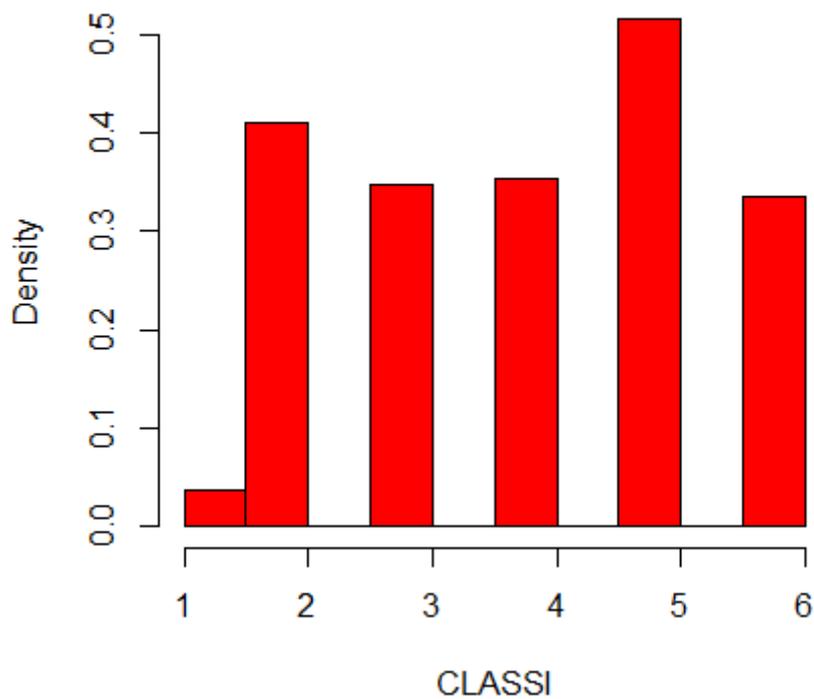


Figura 4.24: Classi di stabilità nella zona di interesse calcolate con CALMET per l'anno 2018.

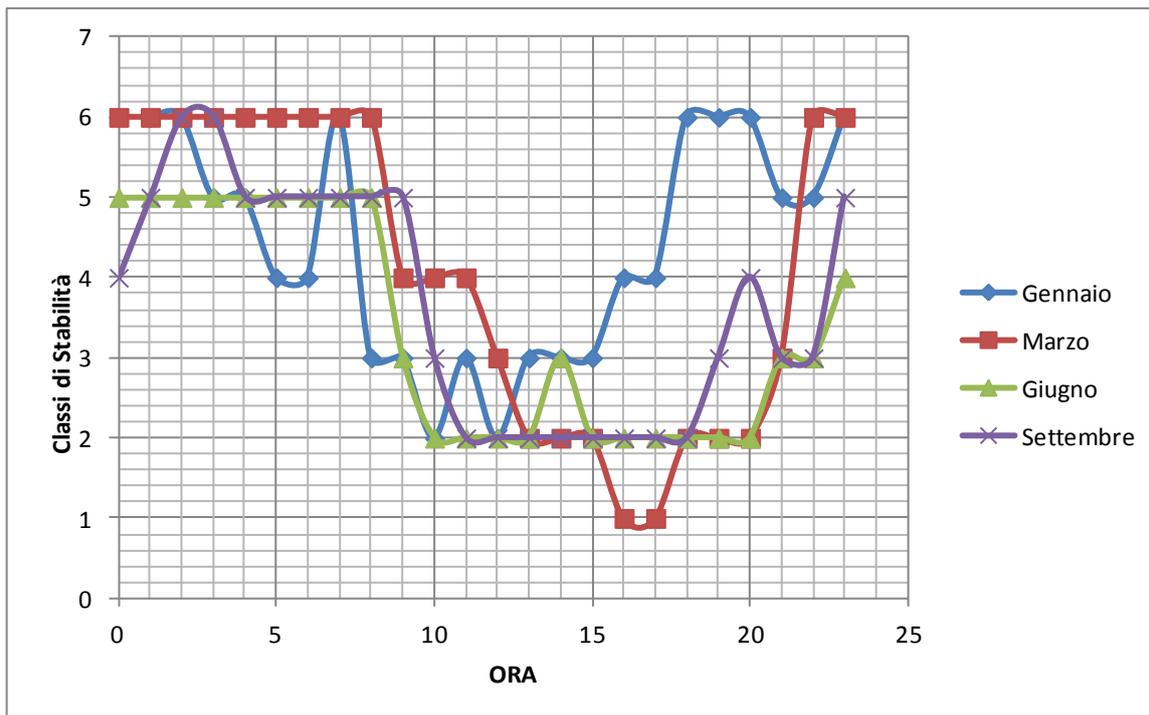


Figura 4.25: Andamento giornaliero delle Classi di stabilità nella zona di interesse calcolate con CALMET per l'anno 2018.

5 Stato di qualità dell'aria nel territorio di interesse

Per quanto riguarda la qualità dell'aria ci si è soffermati ad analizzare alcuni componenti presenti in atmosfera, responsabili dell'inquinamento della qualità dell'aria a seguito di attività antropiche:

- Polveri
- Ossidi di azoto
- Biossido di zolfo
- Monossido di carbonio
- Ozono
- Benzo(a)pirene
- Benzene
- Metalli (piombo, arsenico, cadmio, nichel)

Per effettuare analisi approfondite si sono esaminati i dati relativi alle stazioni ARPA Piemonte del Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (SRRQA) di:

- Mondovì Aragno (attiva dal 13/12/2013) nella zona IT0119 – di pianura
- Mondovì Marinai (attiva dal 20/11/2001 al 04/12/2013) ora dismessa
- Saliceto Moizo (attiva dal 01/12/1999) zona IT0120 - collina

Inoltre Arpa Piemonte si è dotata nel corso degli anni di una serie di modelli e di moduli di supporto che, coprendo i principali ambiti di utilizzo della modellistica, le permettono di effettuare la Valutazione Annuale della Qualità dell'aria a supporto dei processi di valutazione e gestione della qualità dell'aria mediante l'applicazione di un sistema modellistico euleriano di chimica e trasporto in modalità diagnostica.

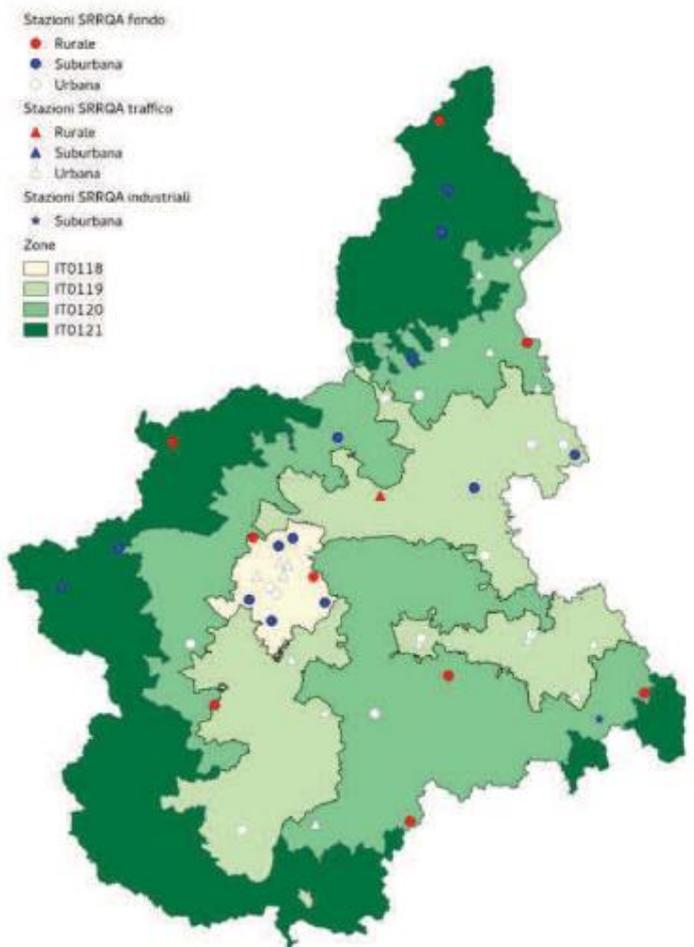


Figura 5.1 – Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria

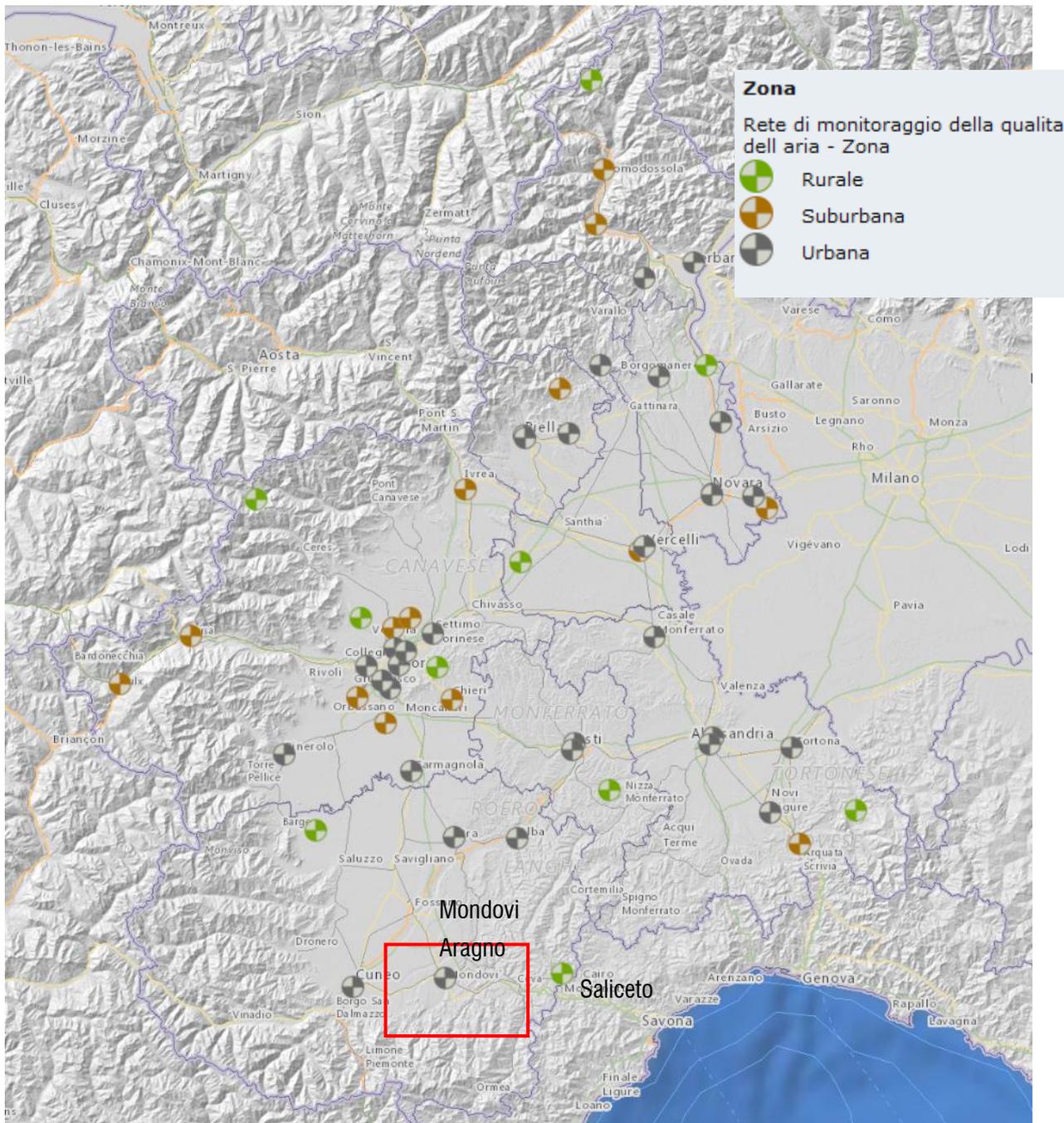


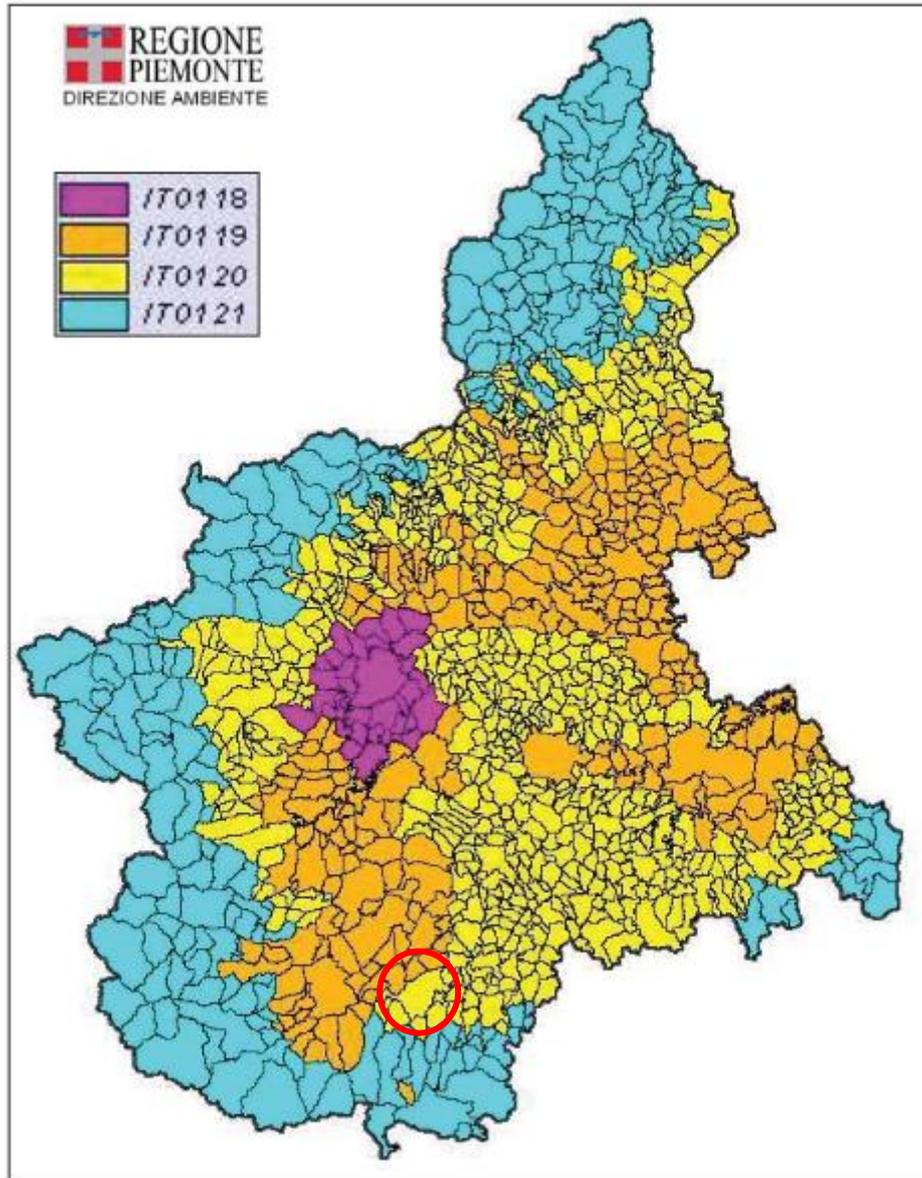
Figura 5.2 - Mappa regionale del Piemonte delle 58 stazioni fisse di monitoraggio dell'aria attive nel 2017

Le prime due stazioni sono di tipo "urbano", rappresentative di aree soggette ad un traffico intenso, mentre l'ultima è una stazione rurale, ovvero nelle cui vicinanze non sono presenti sorgenti emissive particolari, per cui rappresentativa del valore di "fondo" dell'inquinamento nella Provincia di Cuneo.

Inoltre la Regione Piemonte per la stima delle quantità di inquinanti introdotte in atmosfera ha istituito IREA (inventario Regionale delle emissioni in atmosfera); per ciascuna delle sorgenti emissive (puntuali, lineari e areali) fornisce le quantità di inquinanti emesse.

Lo stralcio di Piano "Indirizzi per la gestione di episodi acuti di inquinamento atmosferico" ha regolamentato la gestione di episodi acuti di inquinamento atmosferico su due livelli territoriali

diversi: le *Zone di Piano* (zone a rischio) e le *zone di mantenimento* (zone con qualità buona dell'aria).



	u.m.	Agglomerato Torino IT0118	Zona pianura IT0119	Zona collina IT0120	Zona montagna IT0121	Totale
N° Comuni		32	269	660	245	1.206
Popolazione		1.555.778	1.326.067	1.368.853	195.532	4.446.230
Superficie Comuni	km ²	838	6.595	8.811	9.144	25.389
Densità abitativa	ab/km ²	1.856	201	155	21	175
Densità em. PM10	t/km ²	3,57	0,78	0,55	0,13	0,56
Densità em. NO _x	t/km ²	16,68	3,70	2,36	0,34	2,45
Densità em. COV	t/km ²	19,44	3,11	4,18	2,05	3,64
Densità em. NH ₃	t/km ²	2,76	4,02	1,03	0,19	1,56

Figura 5.3 - Zonizzazione

Polveri sottili

La figura seguente evidenzia il numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM10 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte/anno) registrato nelle stazioni della rete regionale del Piemonte nel 2017. Come si può vedere nella stazione di Mondovì, a differenza della stazione di Saliceto, è stato registrato un numero di superamenti superiore al limite previsto da normativa.

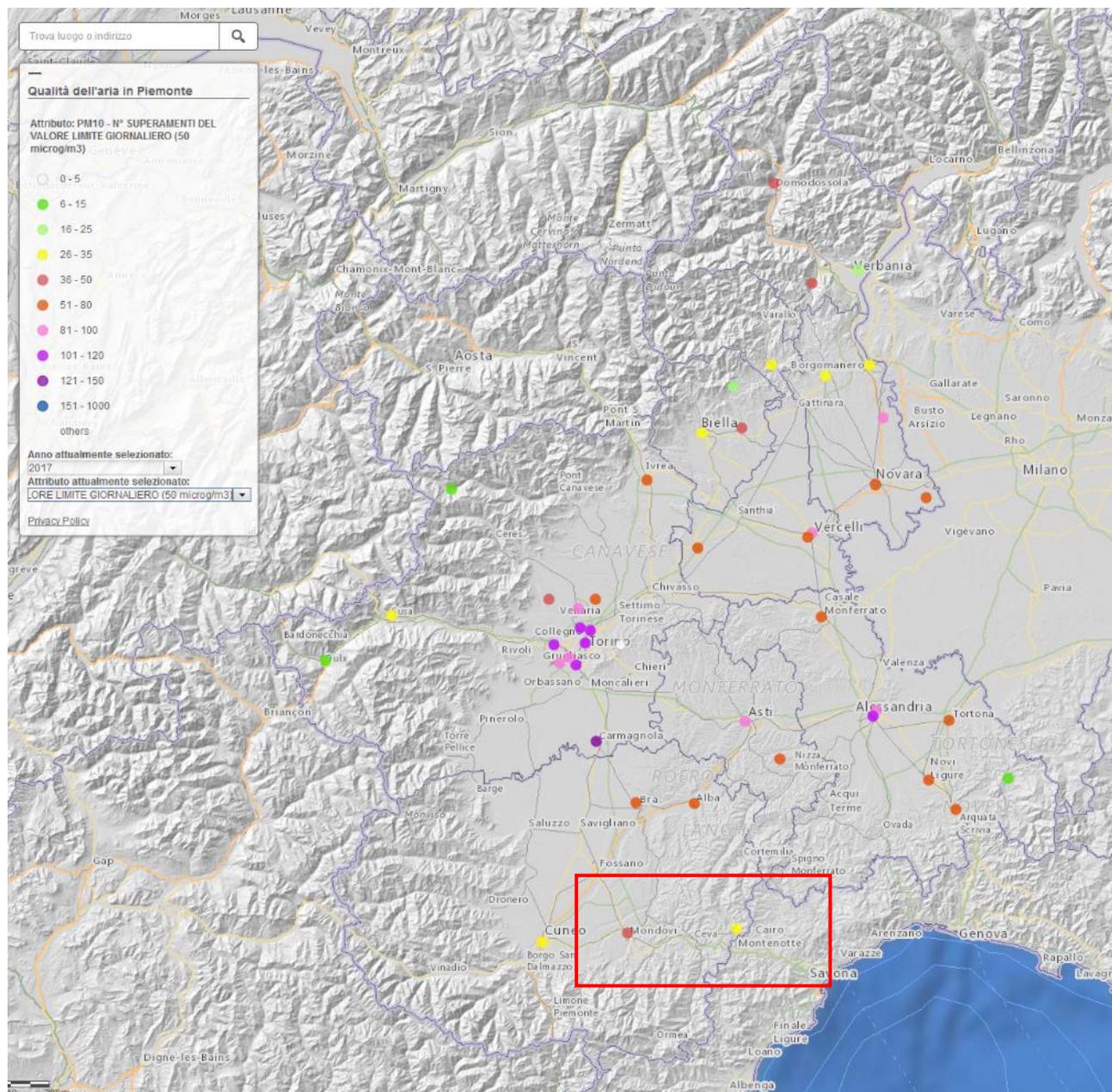


Figura 5.4 - Numero di superamenti registrati per stazione del Valore Limite (VL) giornaliero di PM10 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte/anno) nel 2017

Nelle figure successive si possono vedere le medie annuali dei valori di PM10 e di PM2.5 registrate nelle stazioni del Piemonte nel 2017. In entrambi i casi la media delle concentrazioni registrate nelle stazioni di interesse risulta inferiore ai limiti previsti da normativa (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per PM10, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per PM2.5).

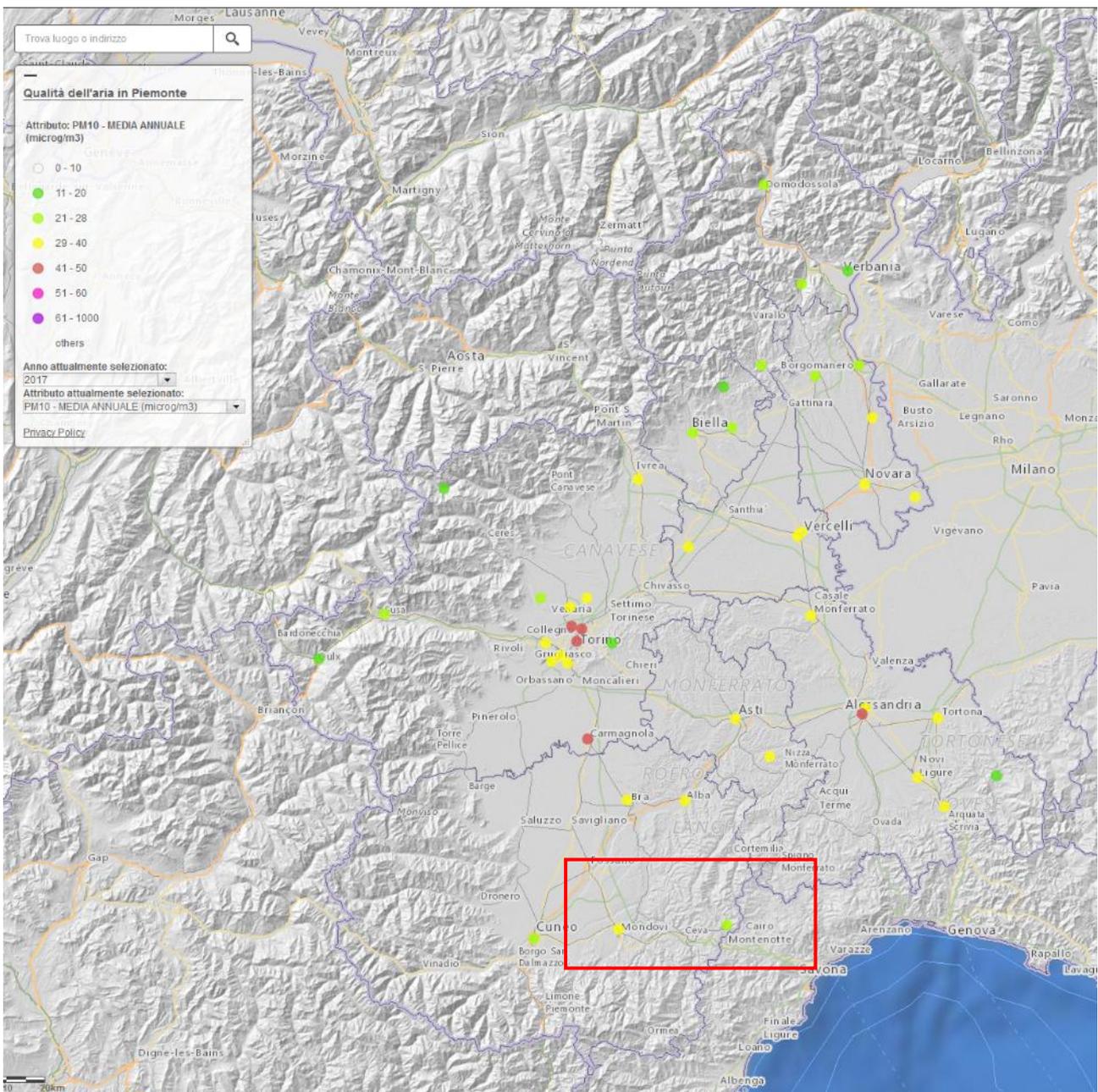


Figura 5.5 - Mappa delle medie annuali di PM10 misurate nelle stazioni della rete regionale del Piemonte nel 2017

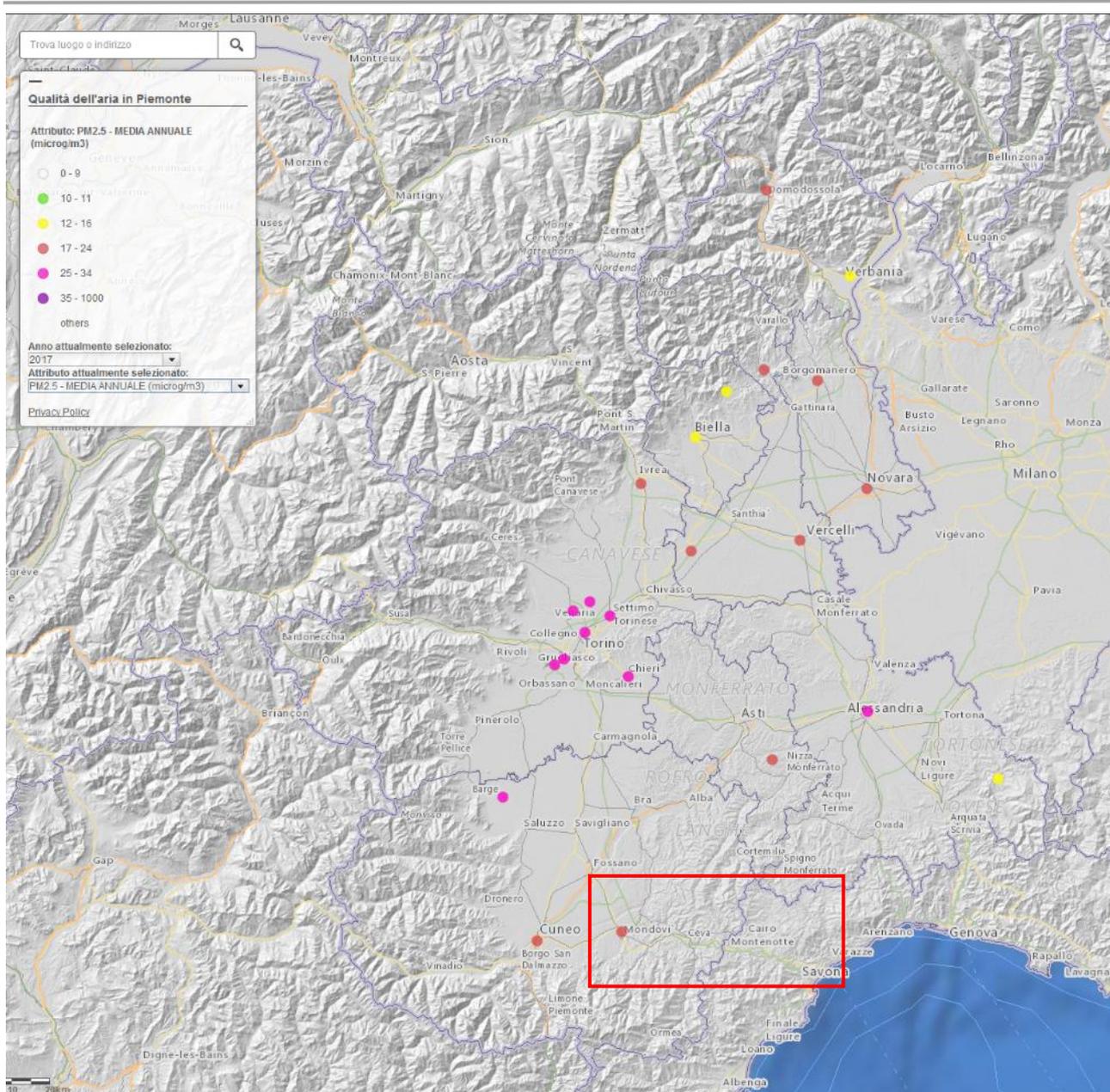


Figura 5.6 - Mappa delle medie annuali di PM2.5 misurate nelle stazioni della rete regionale del Piemonte nel 2017

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dal sistema modellistico di Arpa Piemonte relativamente alle medie annuali delle concentrazioni di PM10 e PM2.5 e al numero di superamenti del valore limite giornaliero del PM10 per i vari comuni della regione riferiti all'anno 2015.

Per quanto riguarda il Comune di Mondovì le simulazioni mostrano il rispetto dei limiti previsti da normativa.

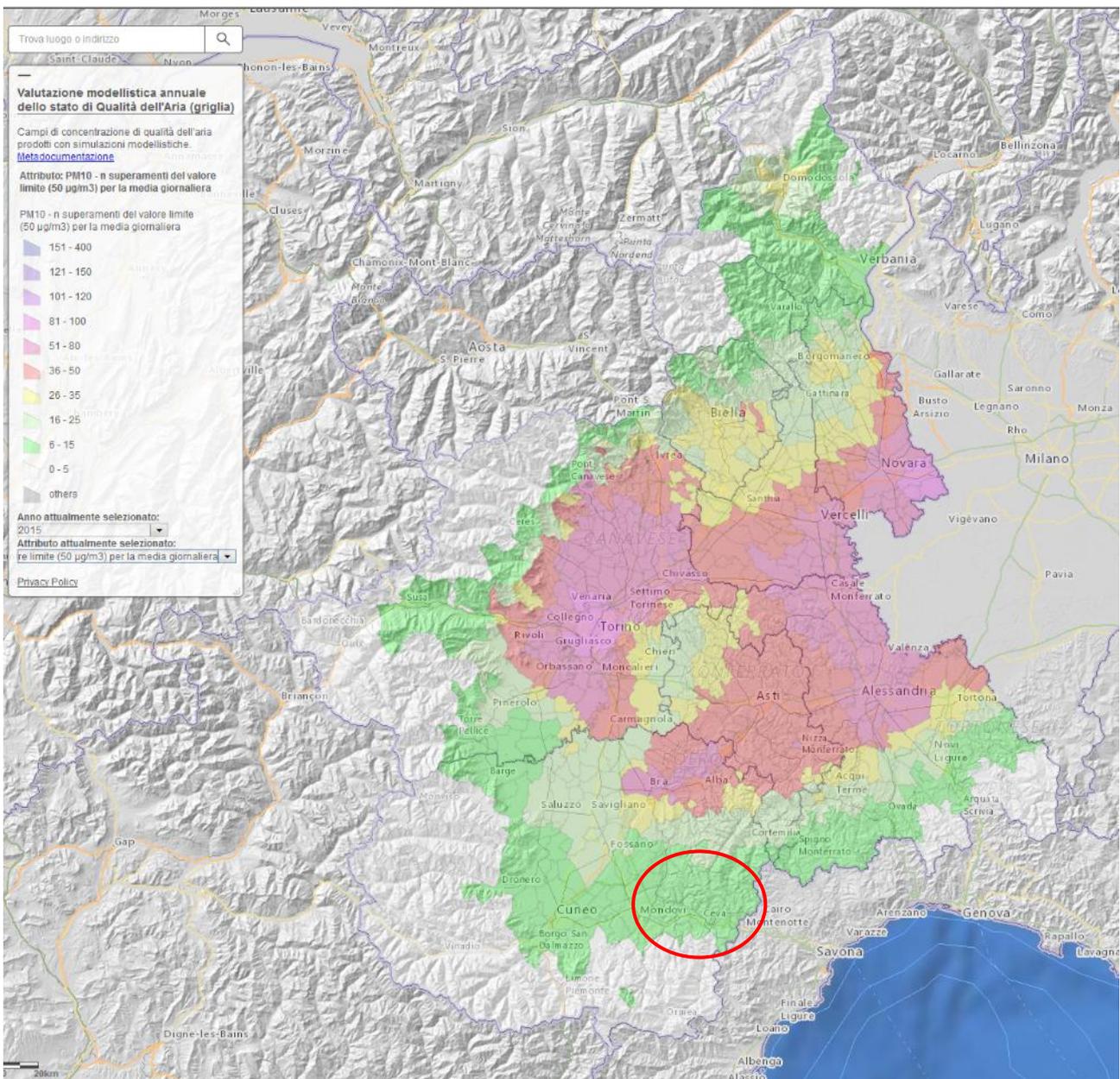


Figura 5.7 - Numero di superamenti del Valore Limite (VL) giornaliero di PM10 (50 µg/m³ da non superare più di 35 volte/anno) nel 2015 stimati per i vari comuni del Piemonte con il sistema modellistico

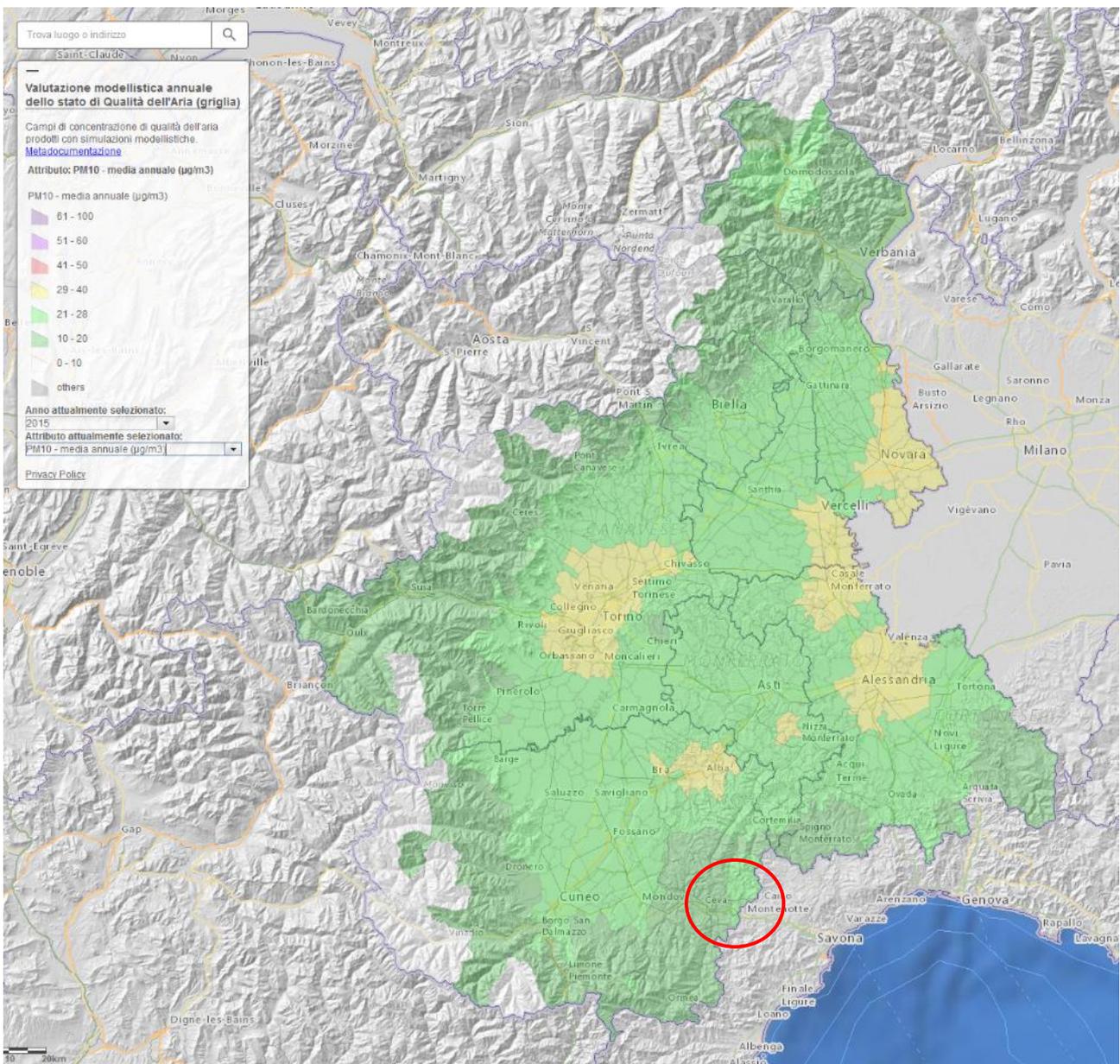


Figura 5.8 - Mappa delle medie annuali di PM10 stimate per i vari comuni del Piemonte nel 2015 con il sistema modellistico

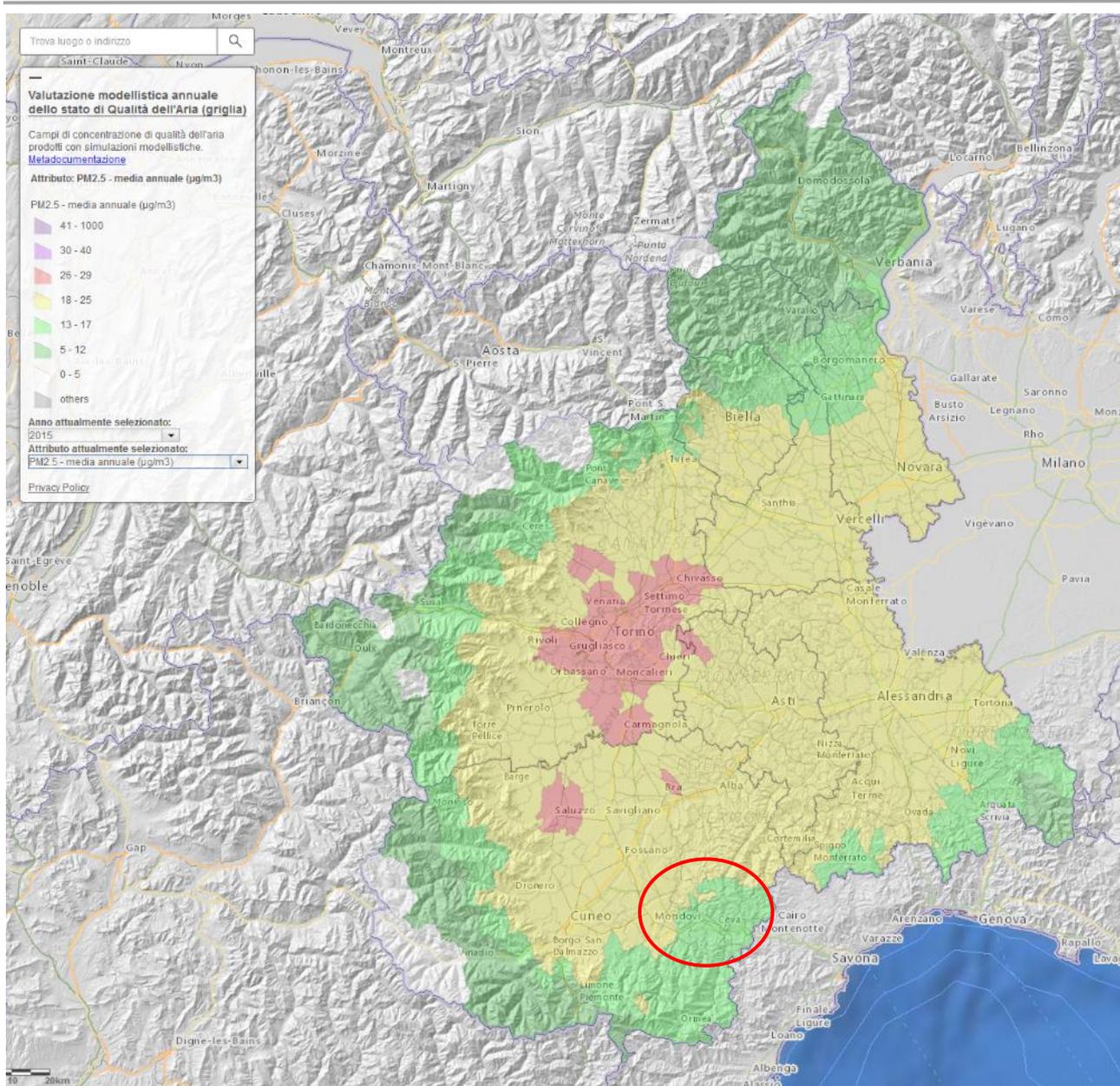


Figura 5.9 - Mappa delle medie annuali di PM2.5 stimate per i vari comuni del Piemonte nel 2015 con il sistema modellistico

Le figure successive mostrano le quantità annuali di PM10 emesse in atmosfera dal traffico di automobili a benzina, automobili diesel e veicoli pesanti diesel. Il Comune di Mondovì, all'interno del quale verrà realizzato il progetto, si distingue dai comuni limitrofi solo nel caso delle emissioni delle automobili (benzina e diesel).

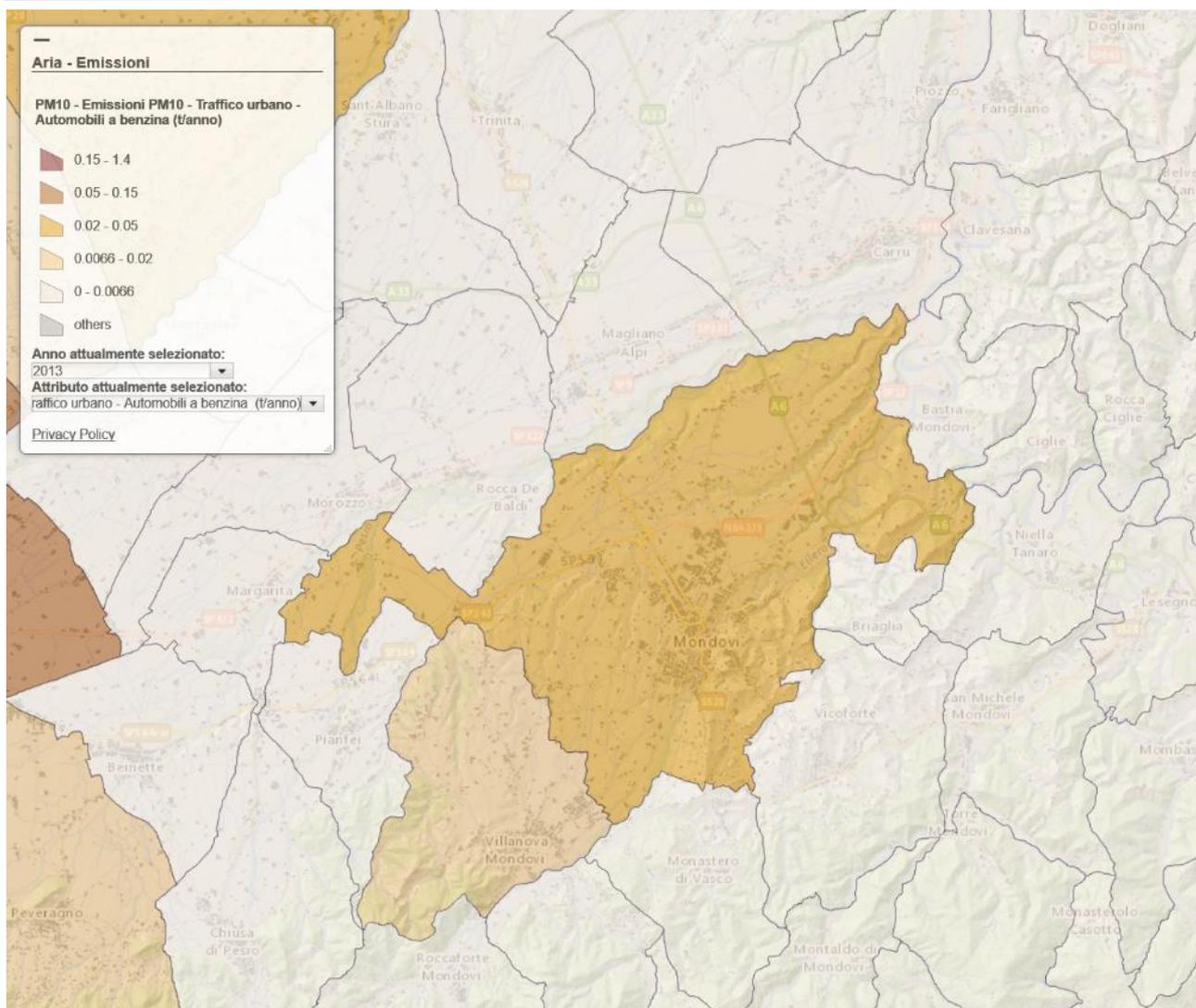


Figura 5.10 – Mappa regionale delle emissioni annuali a livello comunale di PM10 dovute al traffico di automobili a benzina nel 2013

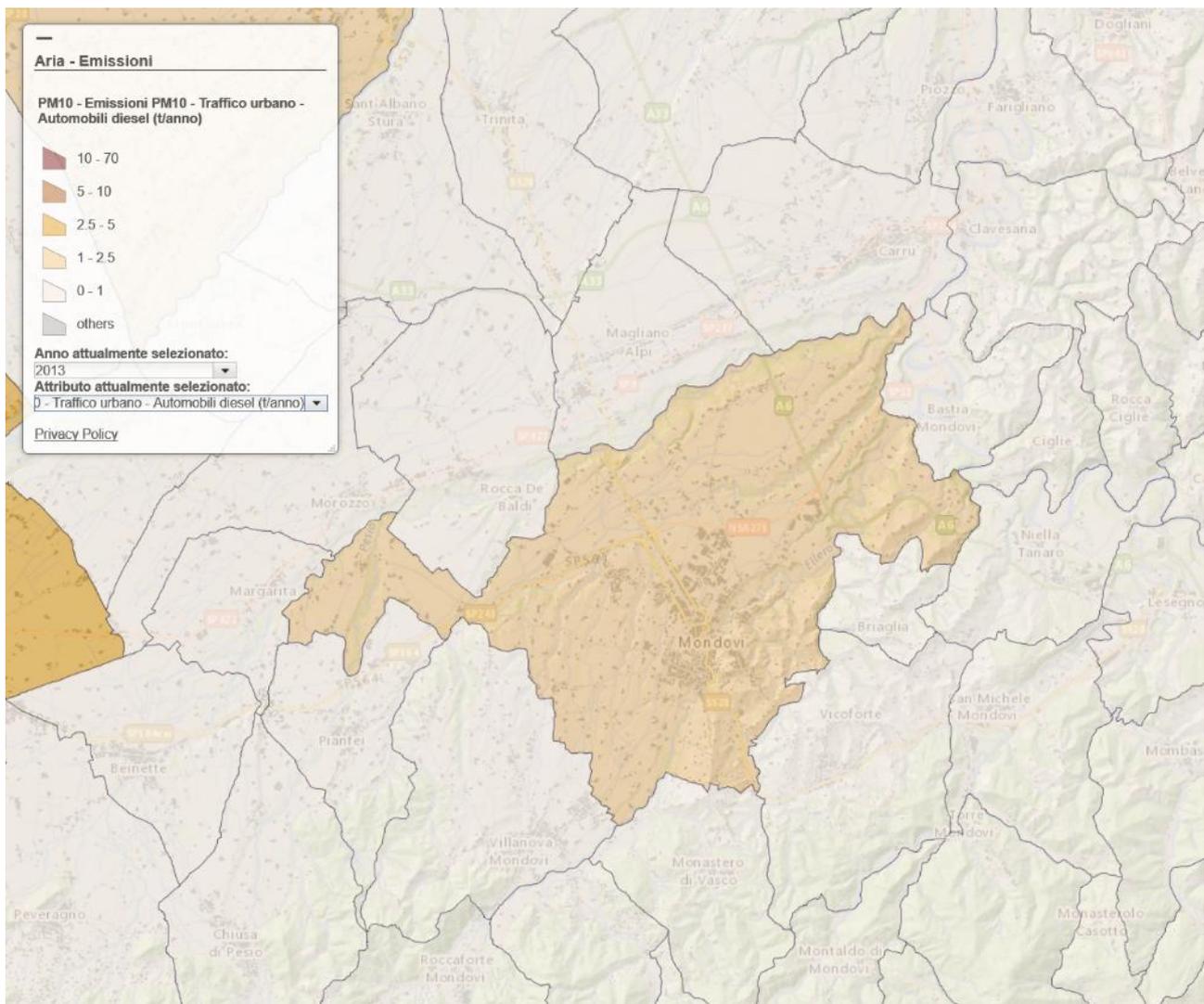


Figura 5.11 - Mappa regionale delle emissioni annuali a livello comunale di PM10 dovute al traffico di automobili diesel nel 2013

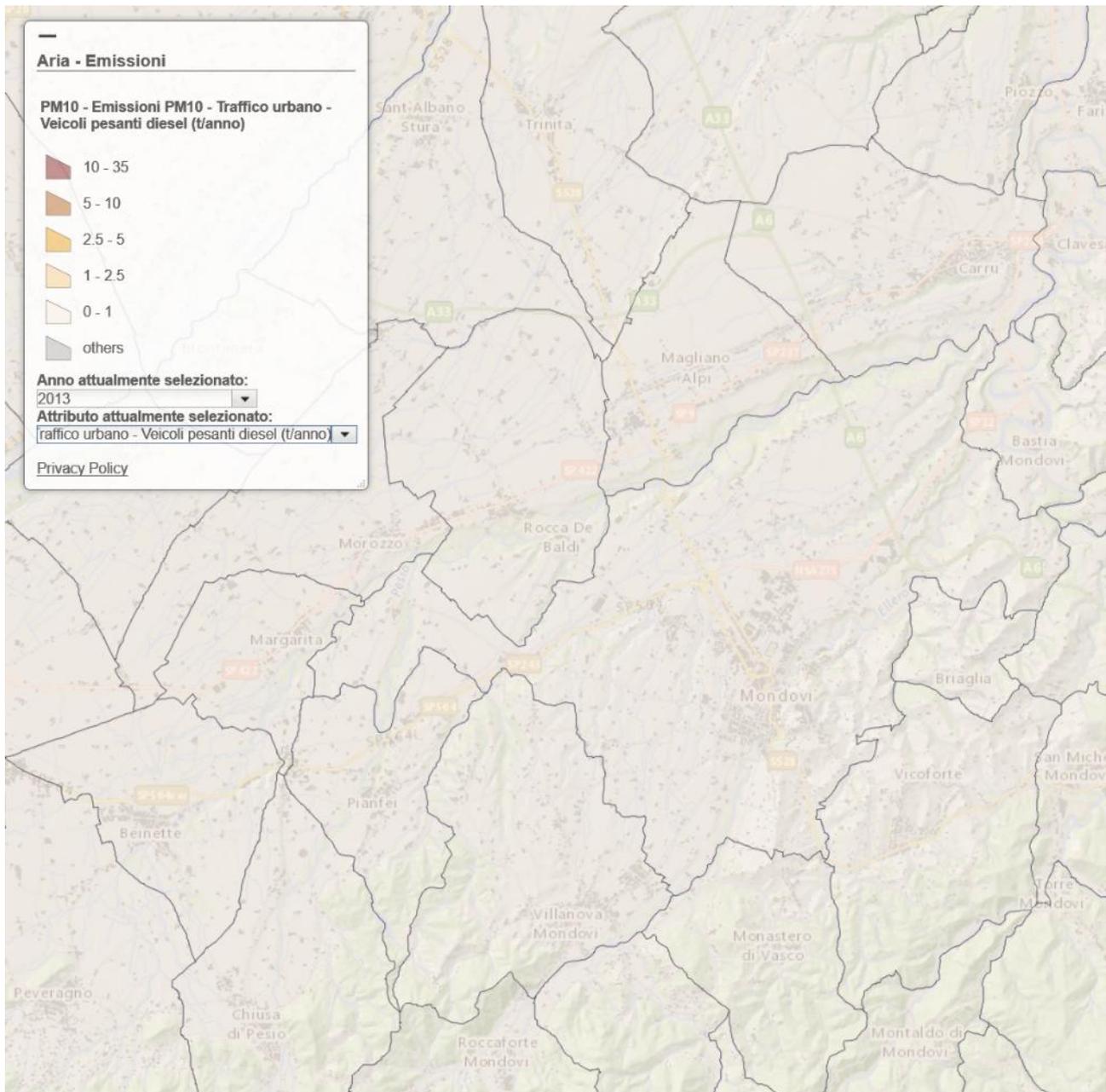


Figura 5.12 - Mappa regionale delle emissioni annuali a livello comunale di PM10 dovute al traffico di veicoli pesanti diesel nel 2013

Gli ultimi quindici anni mettono in evidenza, a livello regionale, una **diminuzione complessiva del valore medio annuale**. Nella figura successiva sono riportate le medie annuali, su base regionale, dei tre tipi di zona (urbana, suburbana e rurale) nei quali sono ripartiti i punti di misura della rete (quella urbana si conferma come la più critica delle tre).

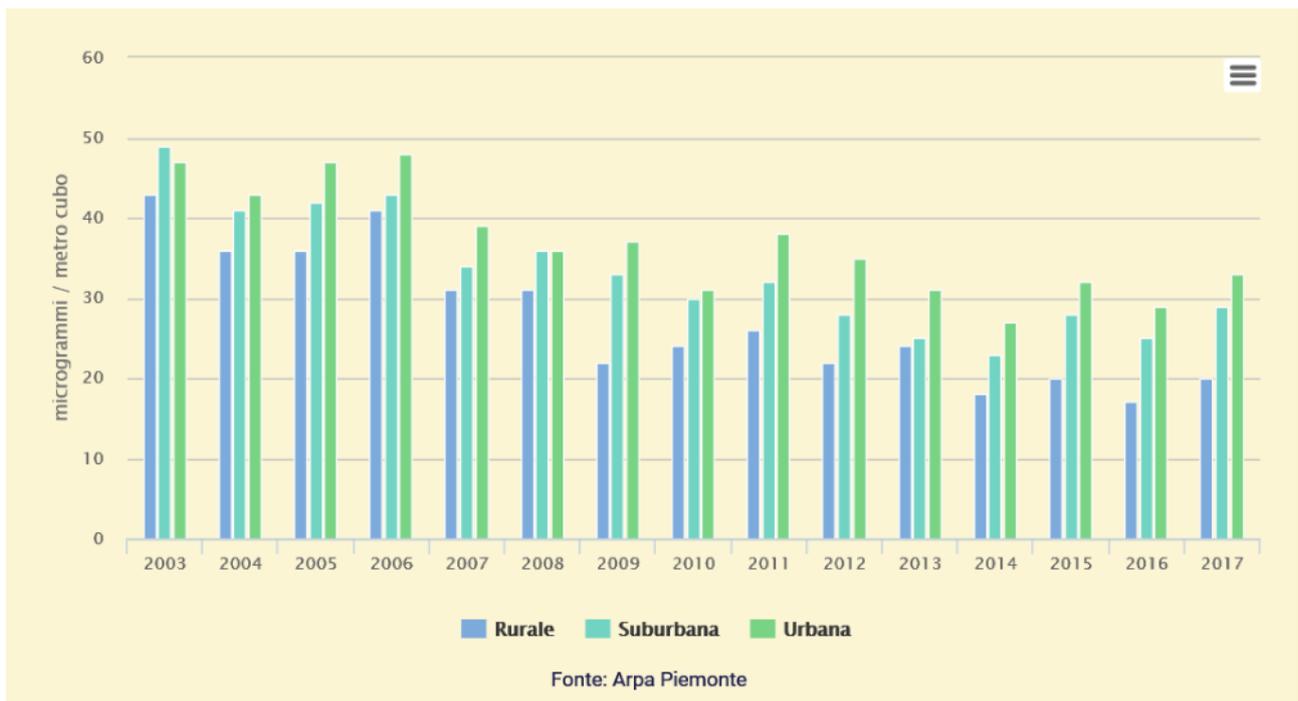


Figura 5.13 - PM10, andamento della media annua - anni 2003-2017

Come per la media annuale, anche per i superamenti, negli ultimi quindici anni si è assistito, a livello regionale, ad una diminuzione complessiva del loro numero. Nella figura seguente è riportato il valore medio di superamenti calcolato per ogni tipo di zona (rurale, suburbana e urbana).

La riduzione complessiva dei valori è evidente nelle stazioni urbane: il valore nel 2017 è pari a quasi metà di quello misurato nei primi anni dello scorso decennio.

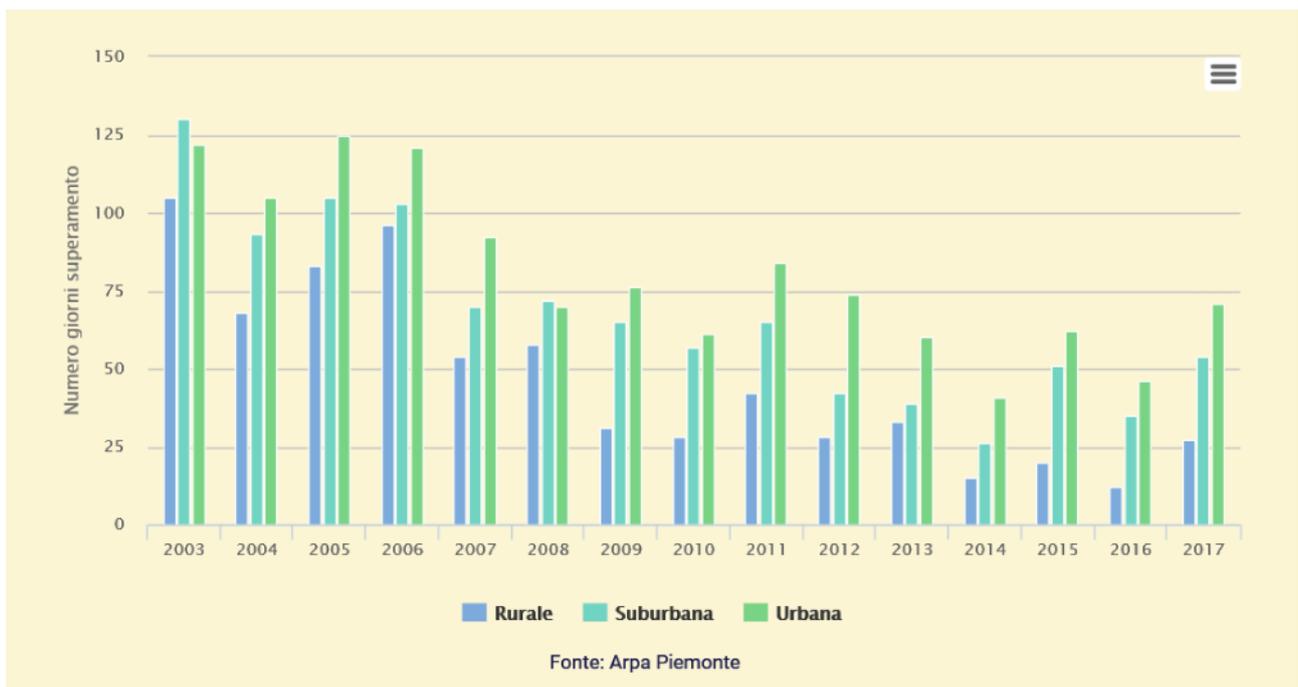


Figura 5.14 - PM10, andamento del superamento limite giornaliero - anni 2003-2017

Il valore limite di protezione della salute umana di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ su base annua nel 2017 è stato **superato** in cinque stazioni di traffico della rete regionale.

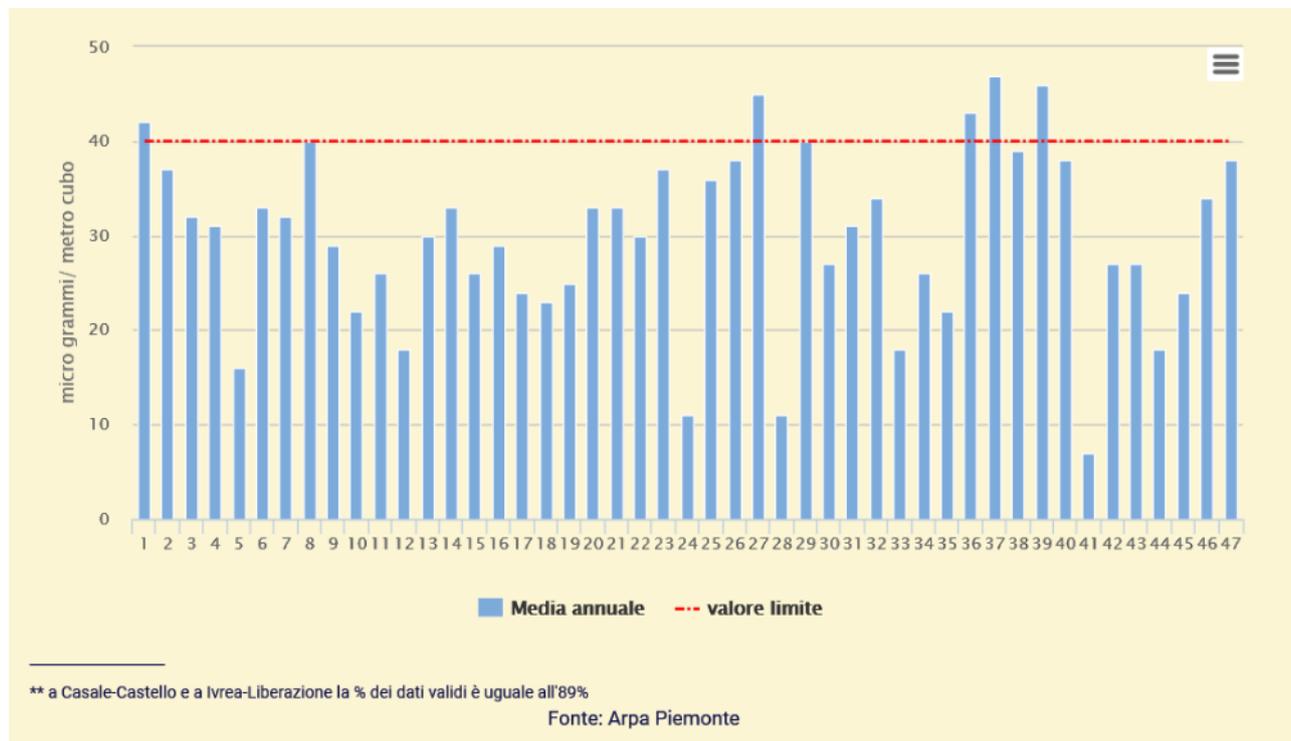


Figura 5.15 - PM10, concentrazione media annuale - anno 2017 (Legenda: 16 Mondovì - Aragno; 17 Saliceto - Moizo)

Il valore limite giornaliero di protezione della salute umana, pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, è stato superato per più di 35 giorni nel 2017 in circa il 70% delle stazioni della rete regionale anche con **valori decisamente elevati** infatti in quattro stazioni il valore misurato è stato superiore al triplo dei giorni in cui può essere superato il valore limite.

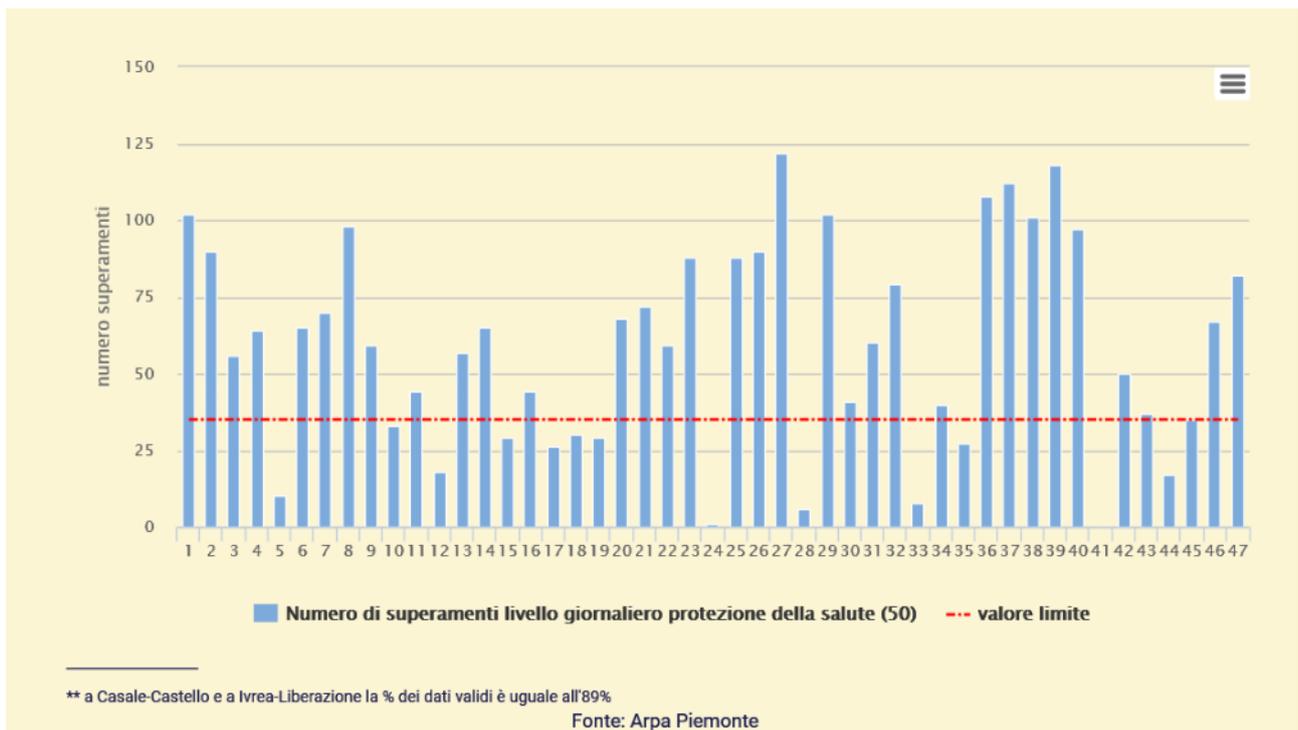


Figura 5.16 - PM10, numero di giorni di superamento del valore limite - anno 2017 (Legenda: 16 Mondovì - Aragno; 17 Saliceto – Moizo)

Il valore medio di concentrazione di PM2.5, per tipologia di zona, denota la **tendenza alla diminuzione in analogia al PM10** anche se l'anno 2017 risulta in deciso incremento. Si ricorda che il valore limite di protezione della salute umana per il PM2.5 è di 25 µg/m³ su base annua.

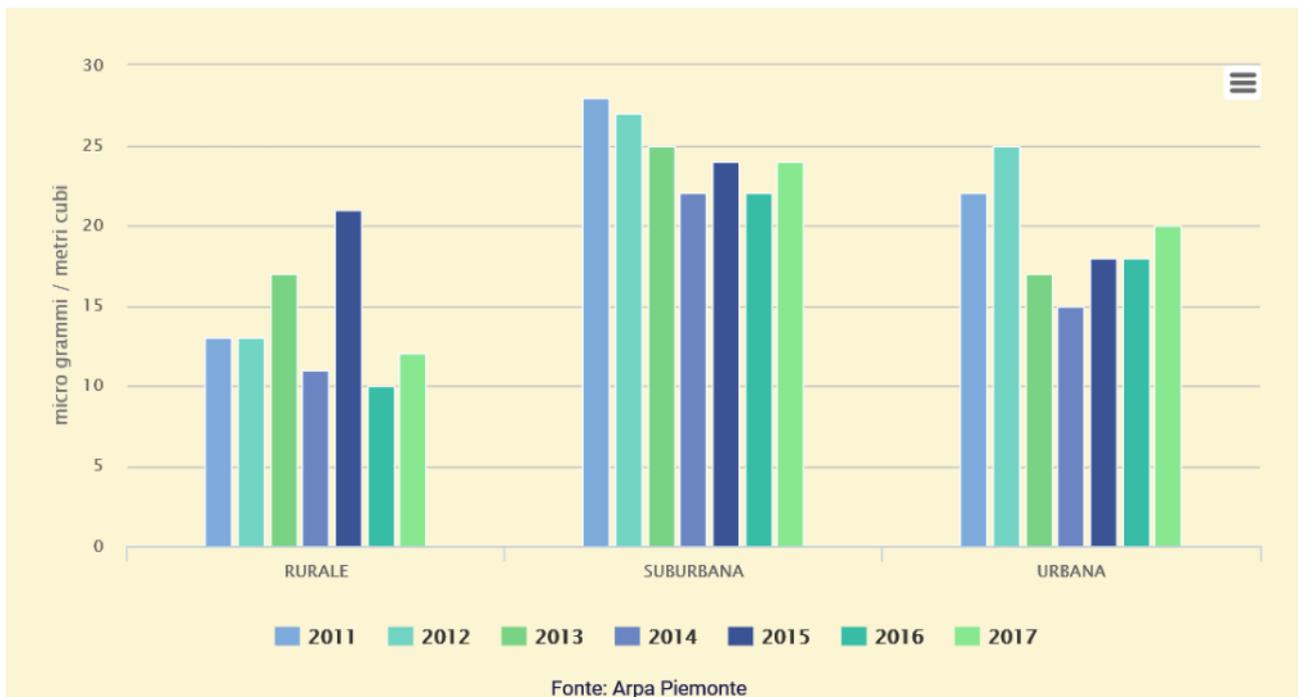


Figura 5.17 - PM 2.5 andamento della media annua per tipo di zona - anni 2011- 2017

Le figure successive mostrano i dati registrati di PM10 e PM 2.5 nelle stazioni della rete regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno nel periodo che va dal 2014 al 2018 e stazione Saliceto Moizo dal 2002 al 2018.

Si nota come l'andamento stagionale sia molto netto: i periodi freddi (inverno ed autunno) non contribuiscono alla dispersione naturale degli inquinanti e quindi (unitamente al fatto che in tali periodi vi è la totalità dei riscaldamenti domestici ed industriali accesi) la media stagionale risulta molto alta.

La tendenza generale è di un abbassamento dei valori con l'aumentare degli anni, evento probabilmente dovuto al miglioramento delle combustioni (migliori tecnologie per le caldaie, rinnovo del parco auto, ecc...) e all'affinarsi di strategie di contenimento del problema. Si osserva però una sostanziale stazionarietà nell'ultimo quinquennio.

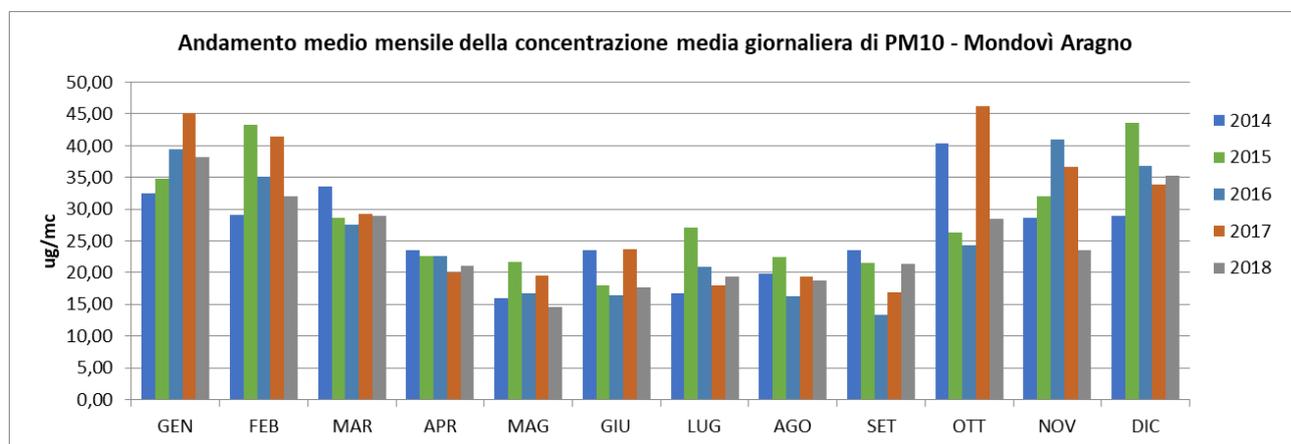


Figura 5.18 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

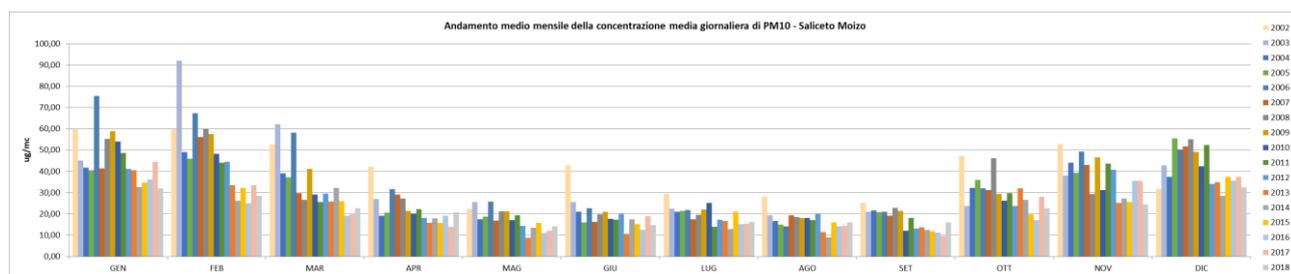


Figura 5.19 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di PM10 registrata dal 2002 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

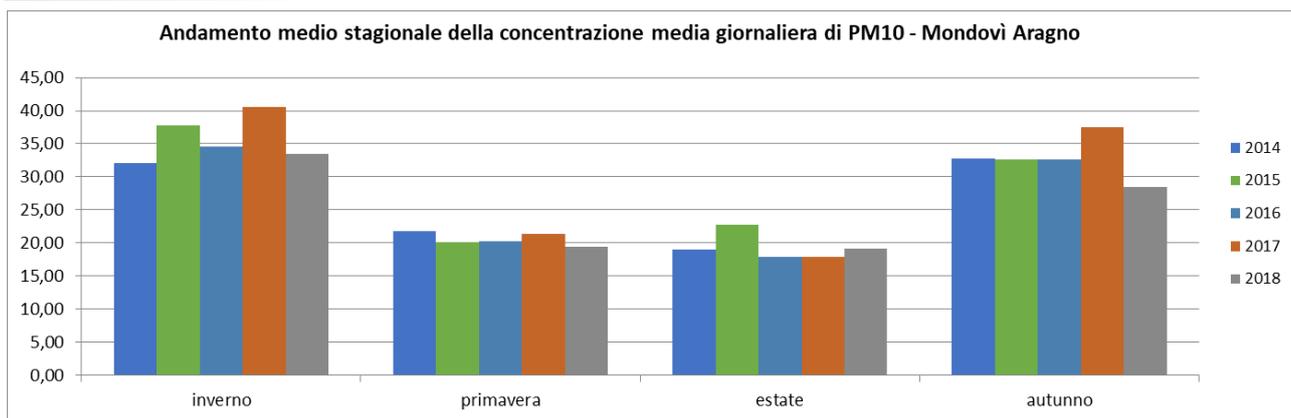


Figura 5.20 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

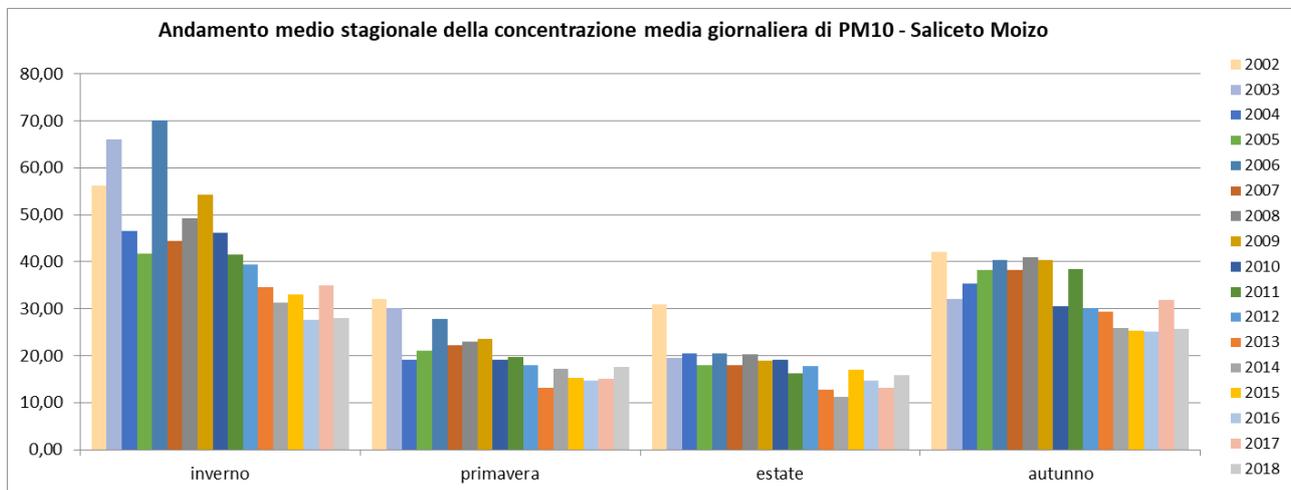


Figura 5.21 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di PM10 registrata dal 2002 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

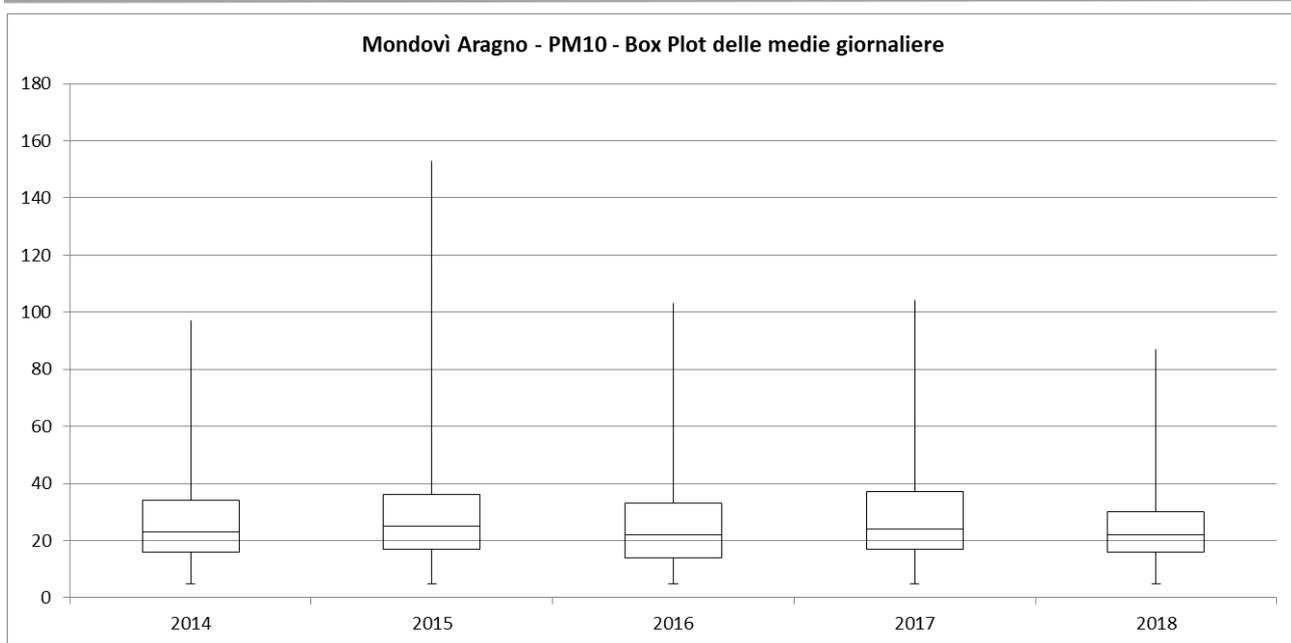


Figura 5.22 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

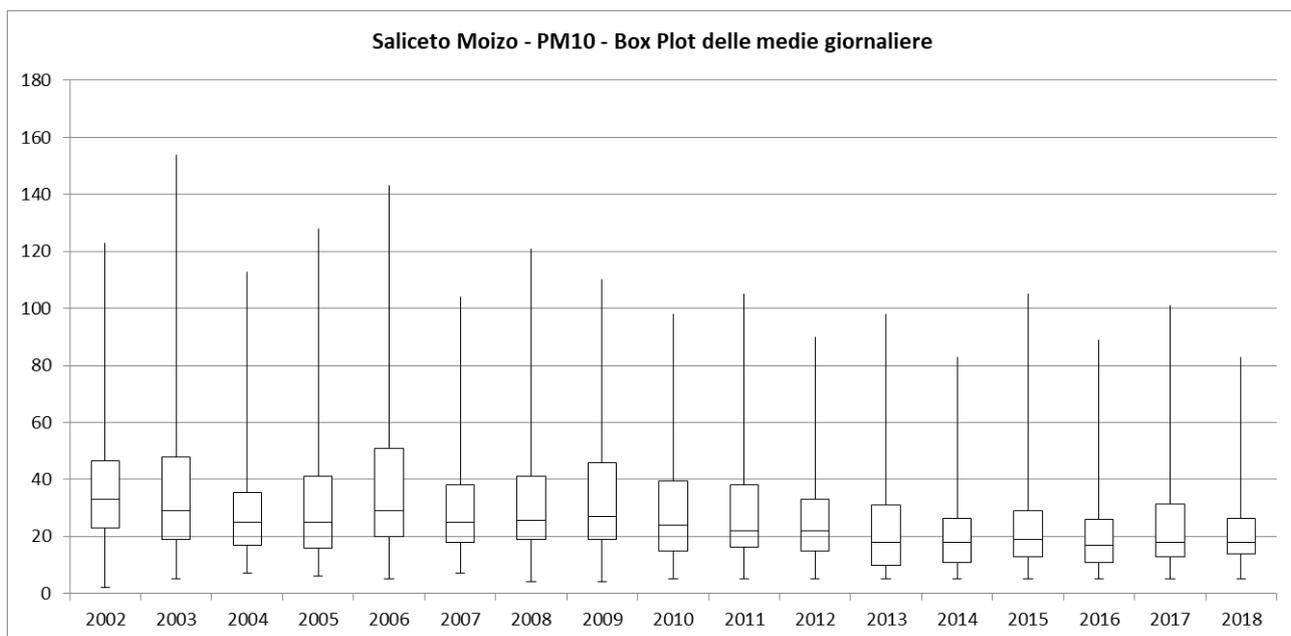


Figura 5.23 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di PM10 registrata dal 2002 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

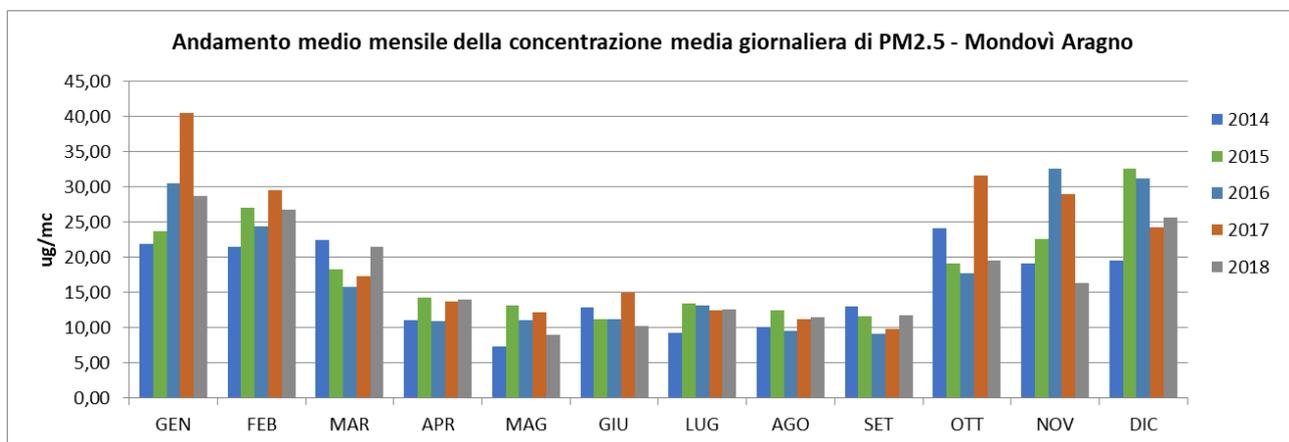


Figura 5.24 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di PM2.5 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

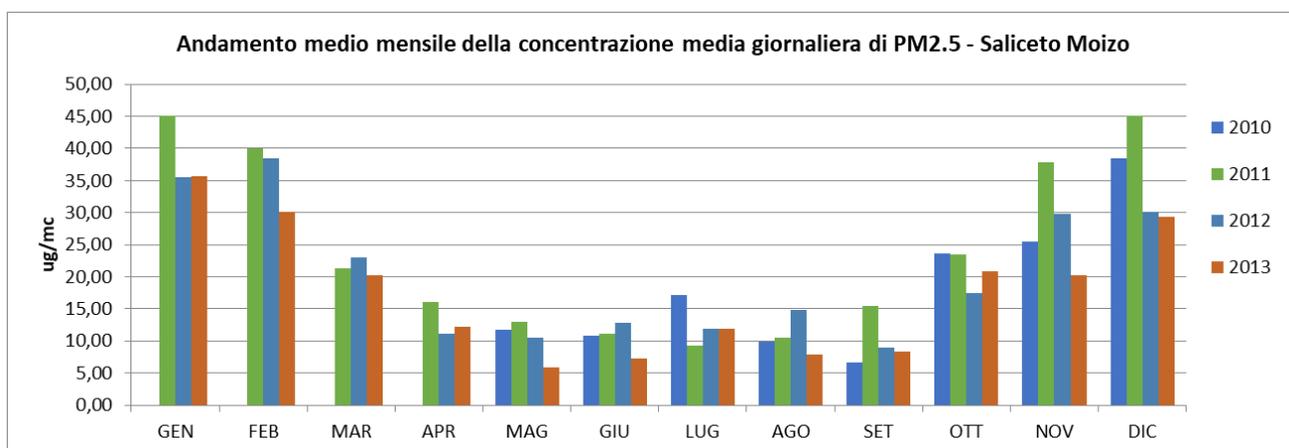


Figura 5.25 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di PM2.5 registrata dal 2010 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

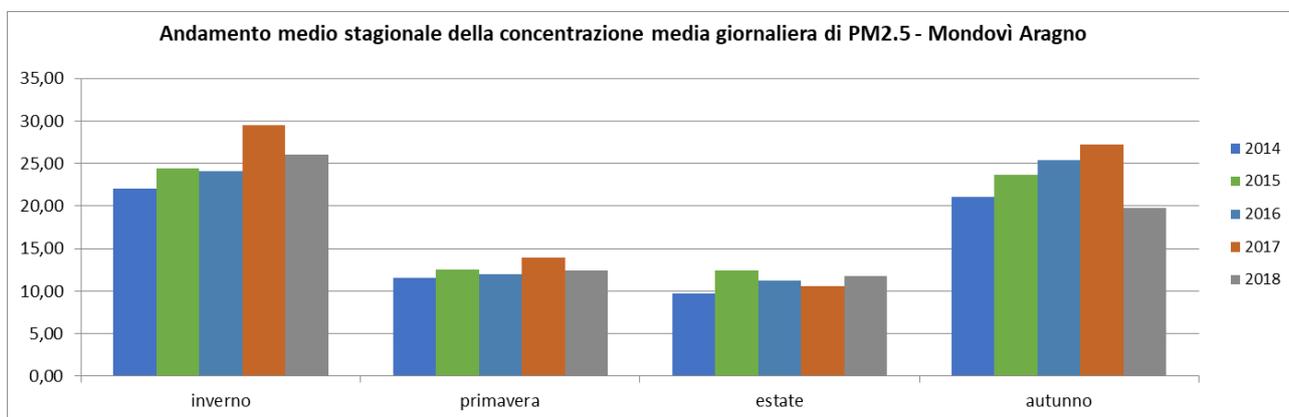


Figura 5.26 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di PM2.5 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

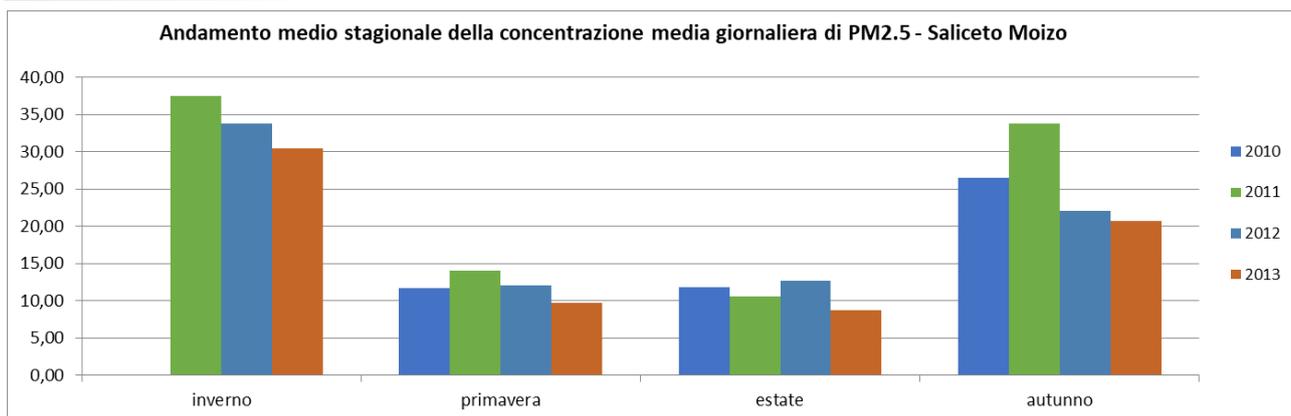


Figura 5.27 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di PM2.5 registrata dal 2010 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

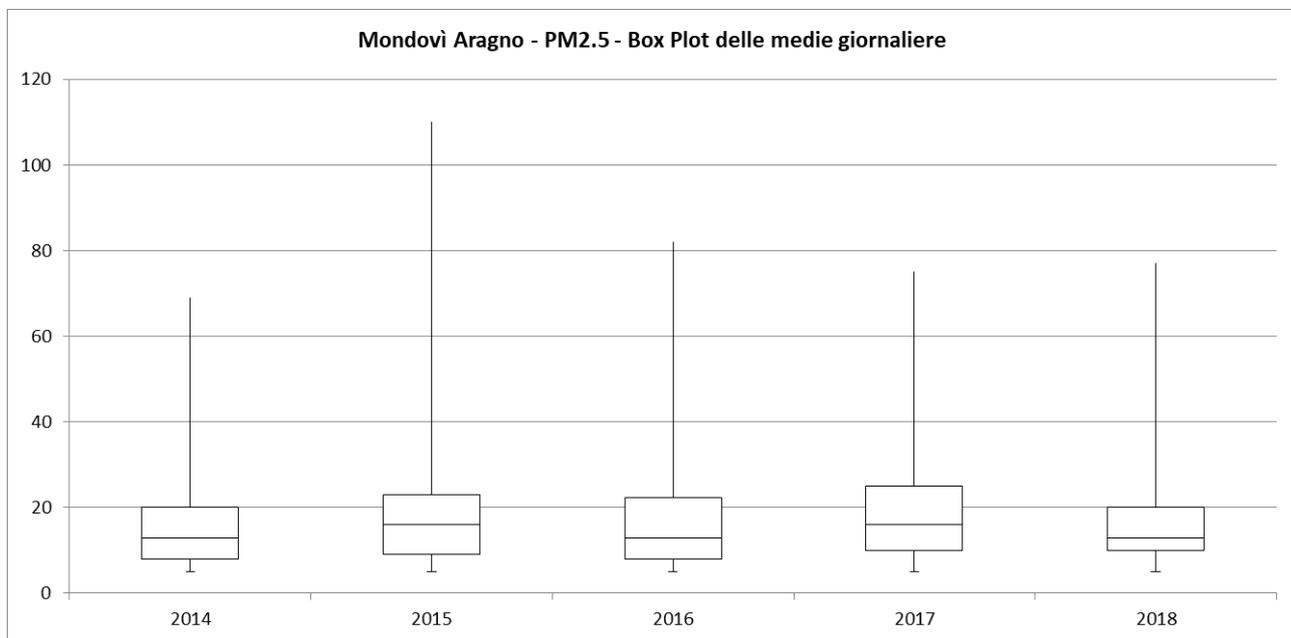


Figura 5.28 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di PM2.5 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

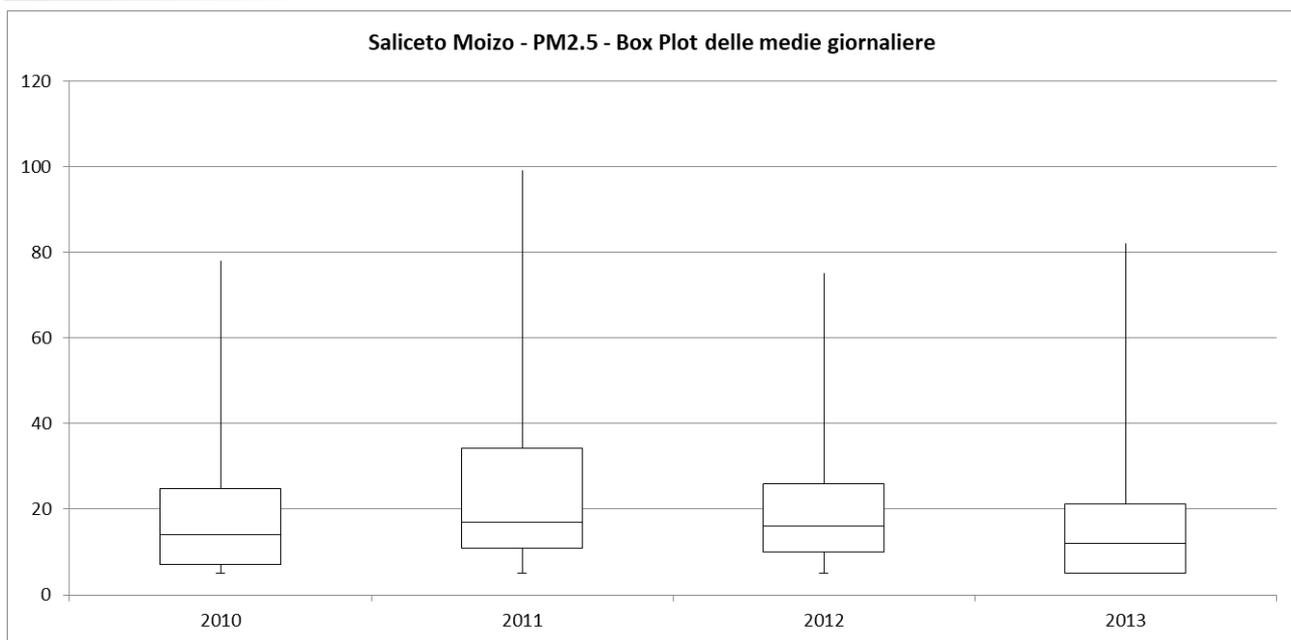


Figura 5.29 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di PM10 registrata dal 2010 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

Ossidi di azoto

Nella figura seguente si possono vedere le medie annuali di NO₂ registrate nelle stazioni del Piemonte nel 2017. Nelle stazioni di interesse non si ha superamento del valore limite annuale per la protezione della salute umana (40 µg/m³).

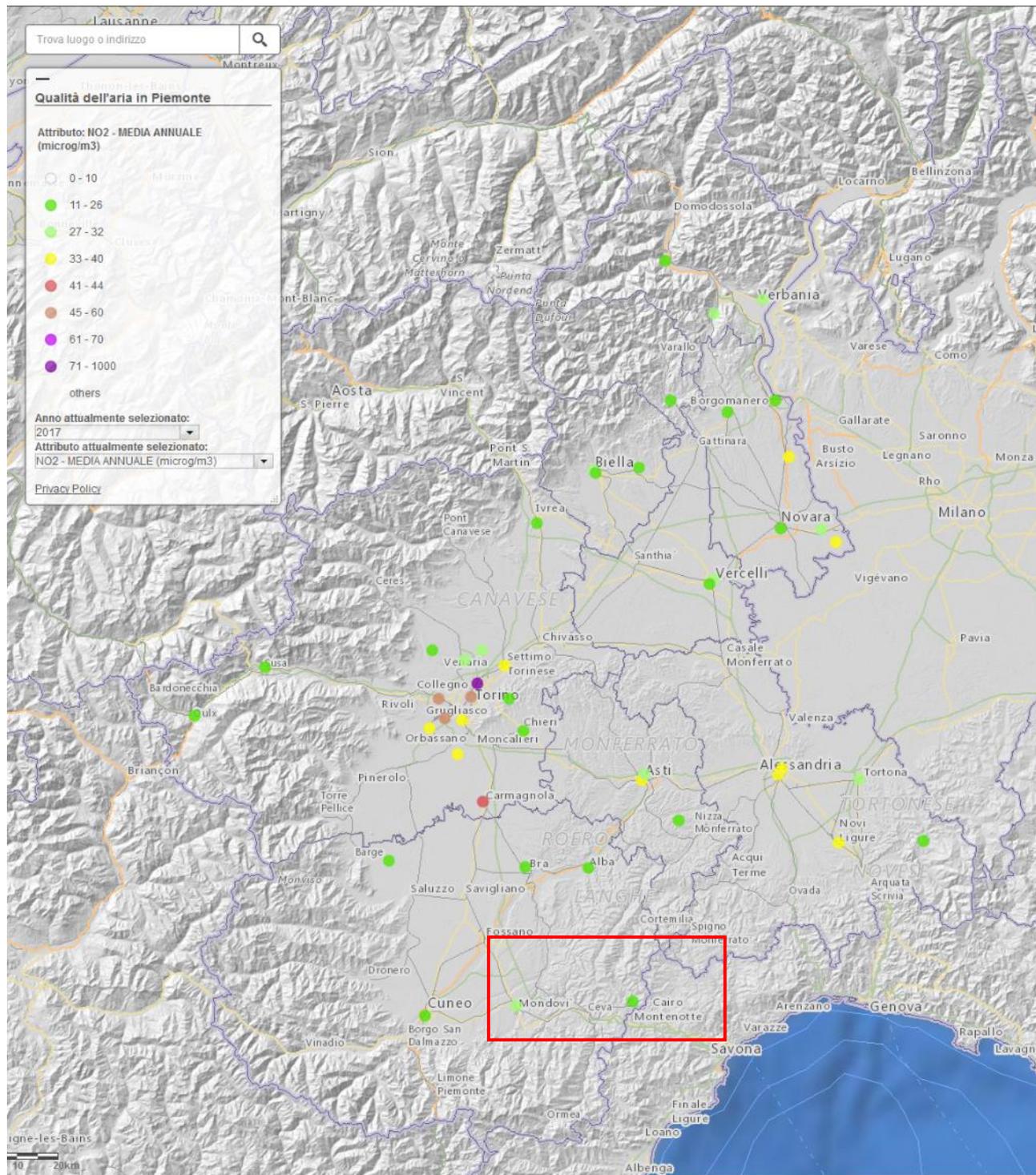


Figura 5.30 - Mappa delle medie annuali di NO₂ misurate nelle stazioni della rete regionale del Piemonte nel 2017

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dal sistema modellistico di Arpa Piemonte relativamente alle medie annuali delle concentrazioni di NO₂ e NO_x per i vari comuni della regione riferiti all'anno 2015. Le simulazioni evidenziano che nel Comune di Mondovì risulta rispettato il valore limite previsto da normativa.

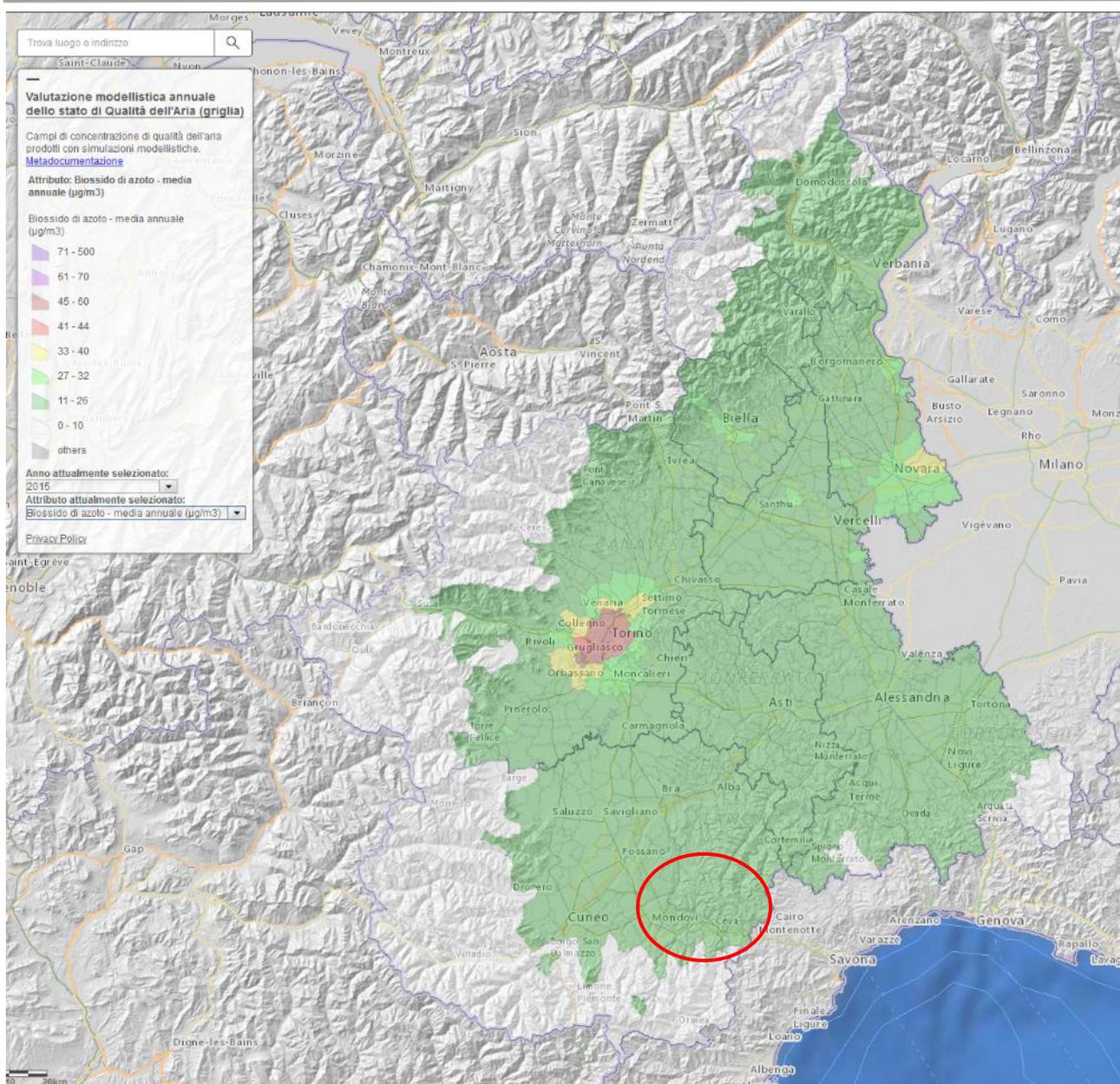


Figura 5.31 - Mappa delle medie annuali di NO₂ stimate per i vari comuni del Piemonte nel 2015 con il sistema modellistico

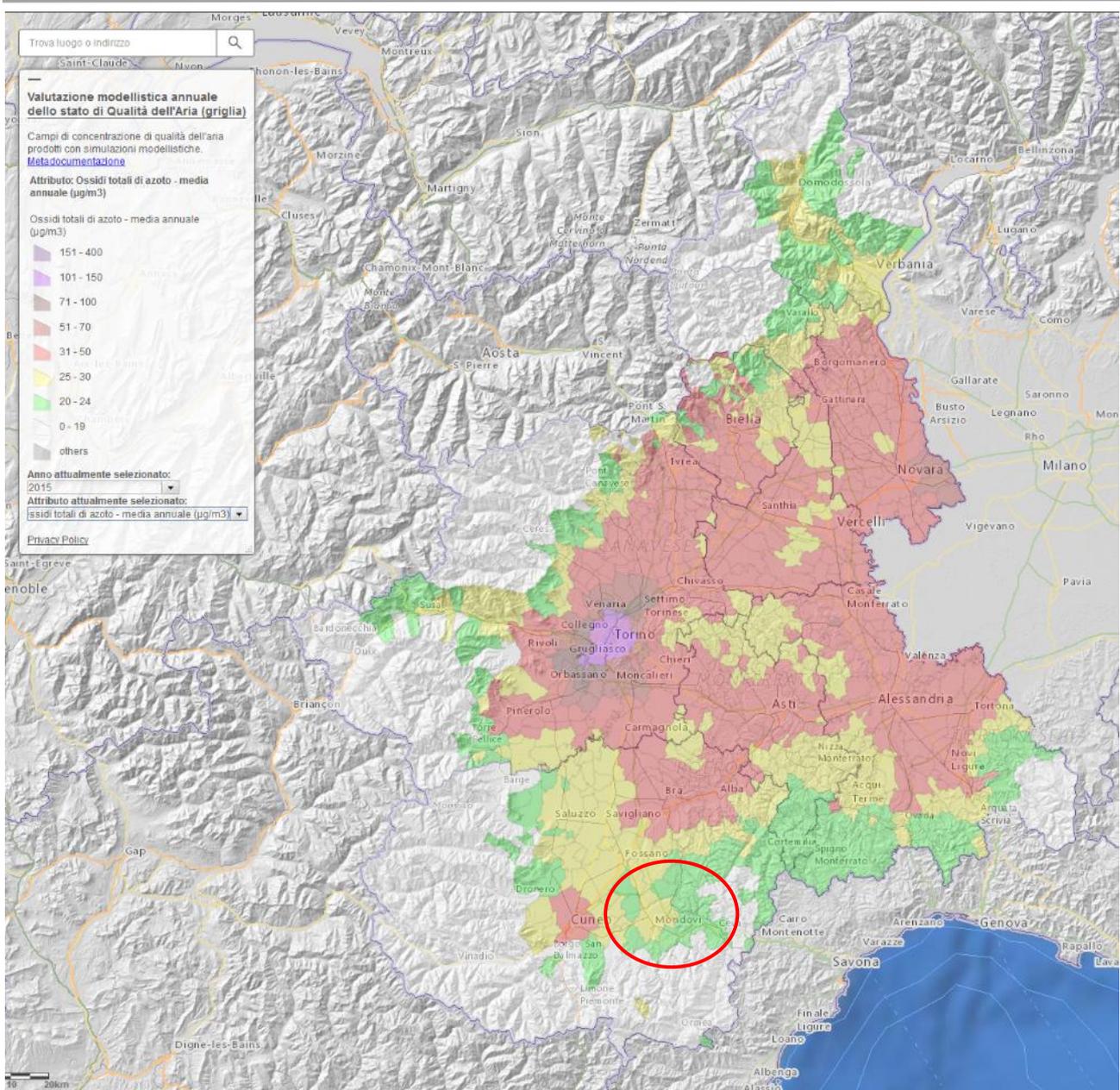


Figura 5.32 - Mappa delle medie annuali degli ossidi totali di azoto (NO_x) stimate per i vari comuni del Piemonte nel 2015 con il sistema modellistico

Le figure successive mostrano le quantità annuali di NO_x emesse in atmosfera dal traffico di automobili a benzina, automobili diesel e veicoli pesanti diesel. Il Comune di Mondovì presenta un'emissione leggermente più alta rispetto ai comuni limitrofi, dovuta alle dimensioni del centro abitato.

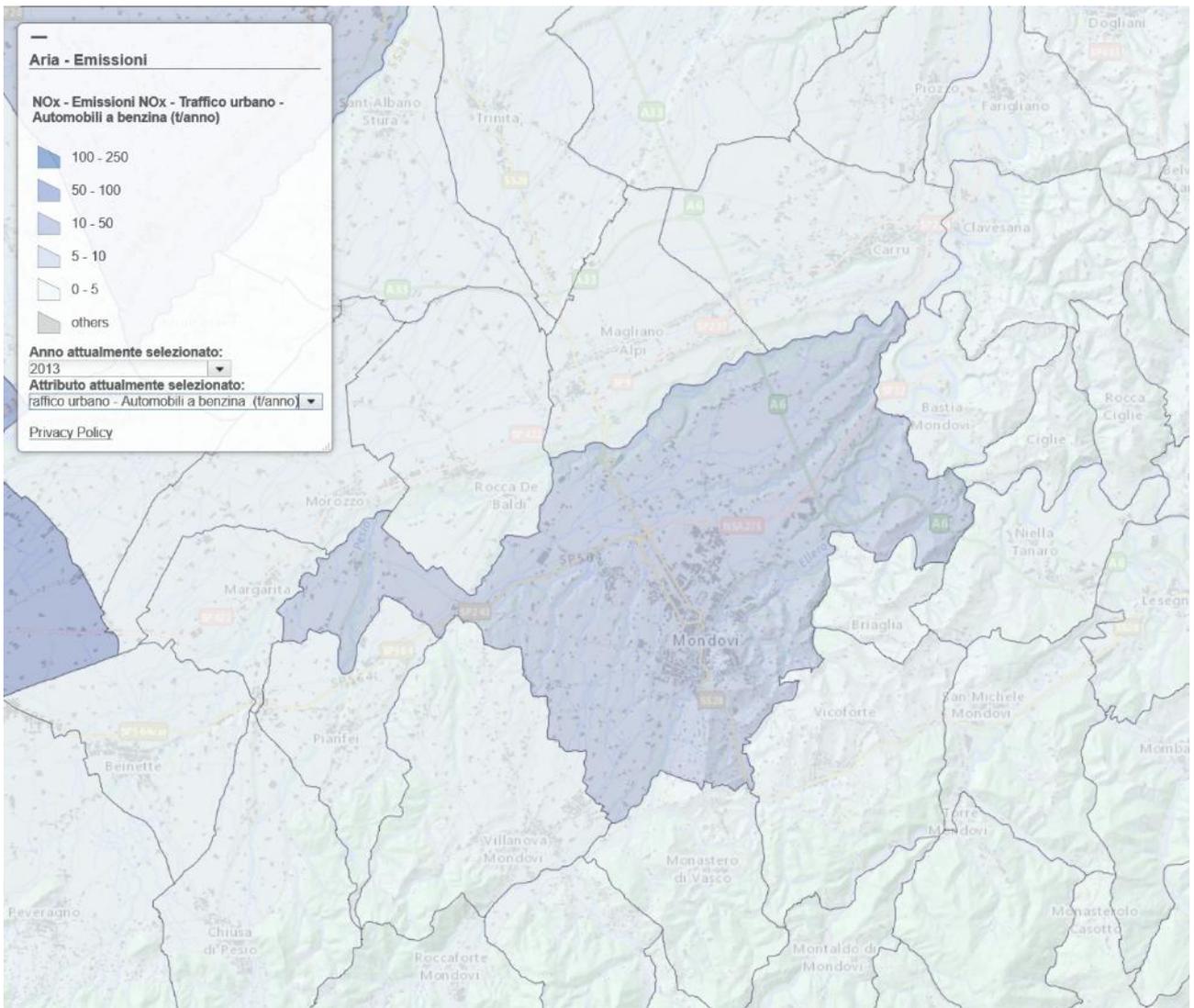


Figura 5.33 - Mappa regionale delle emissioni annuali a livello comunale di NOx dovute al traffico di automobili a benzina nel 2013

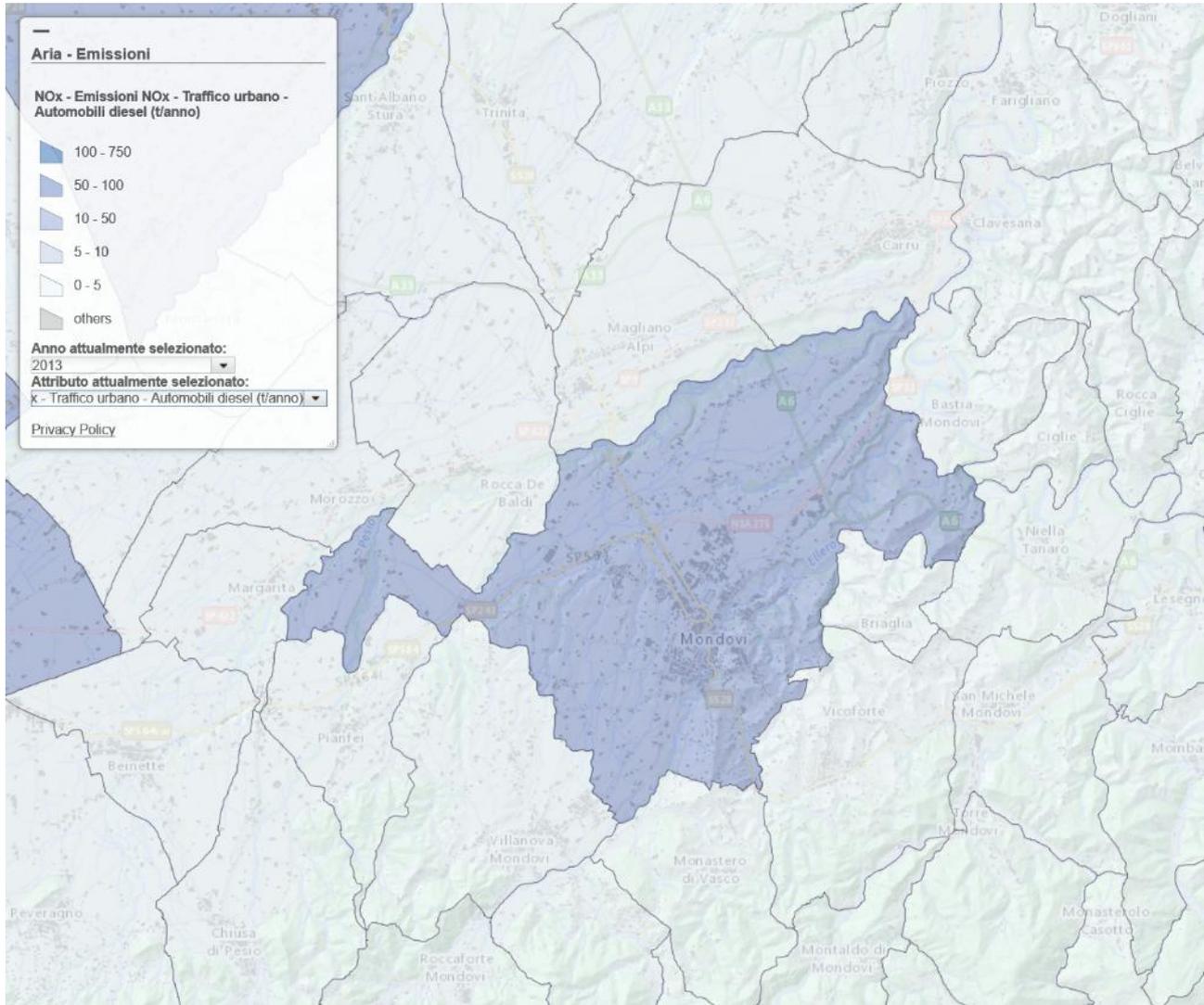


Figura 5.34 - Mappa regionale delle emissioni annuali a livello comunale di NOx dovute al traffico di automobili diesel nel 2013

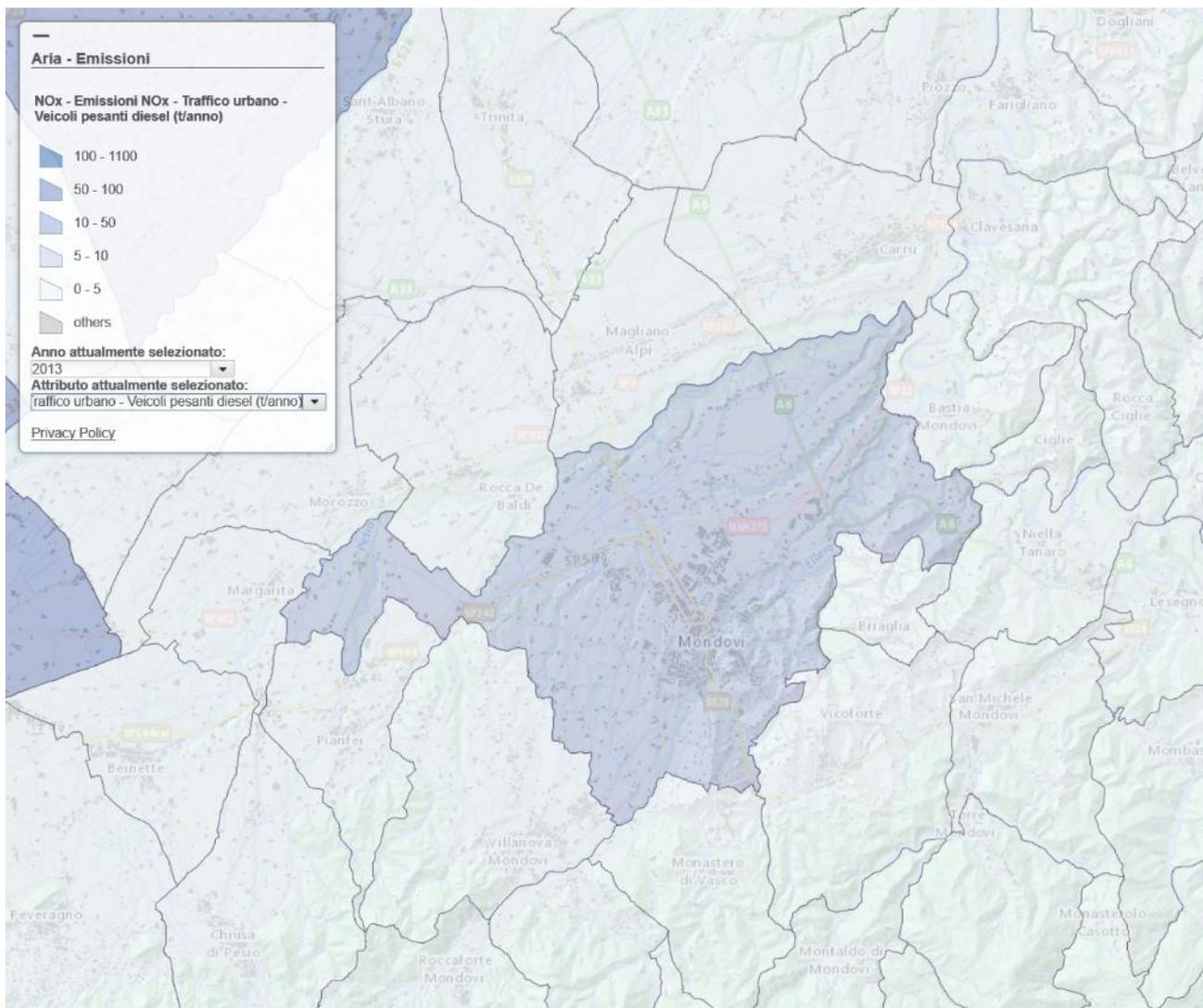


Figura 5.35 - Mappa regionale delle emissioni annuali a livello comunale di NOx dovute al traffico di veicoli pesanti diesel nel 2013

I valori più elevati di NO₂ nel 2017 sono stati misurati quasi sempre nelle stazioni di traffico. Infatti il maggior contributo a questo inquinante deriva dal settore energetico, seguito da quello stradale.

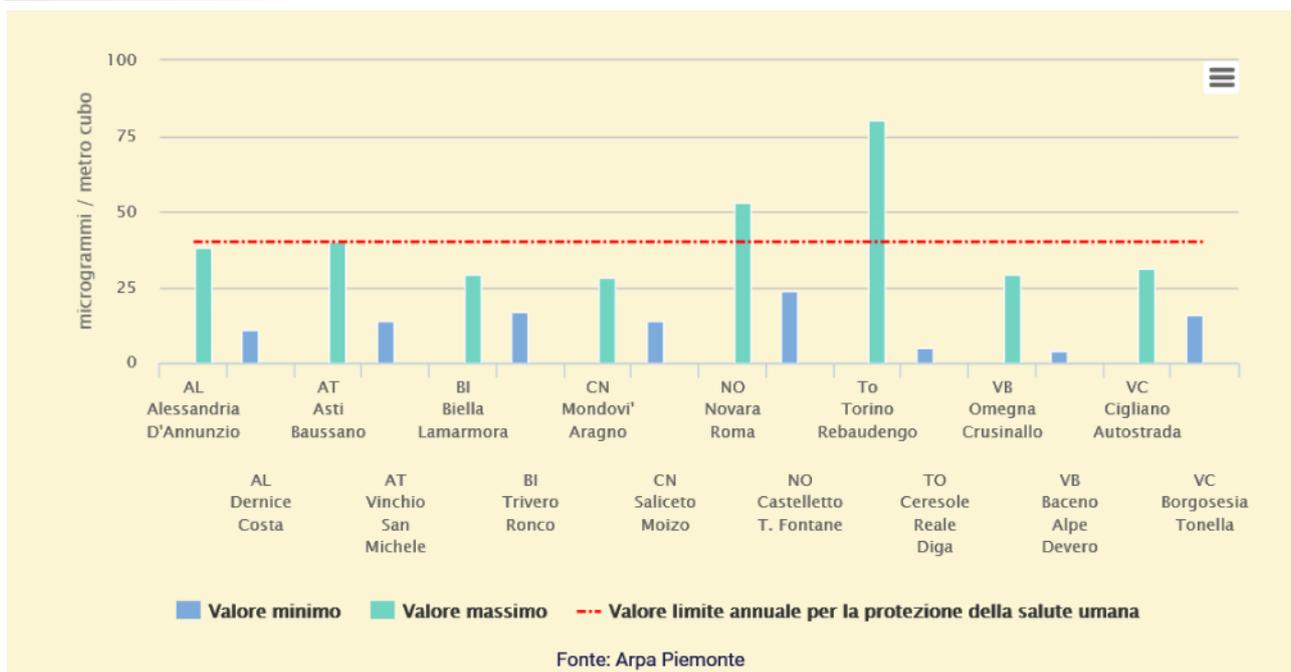
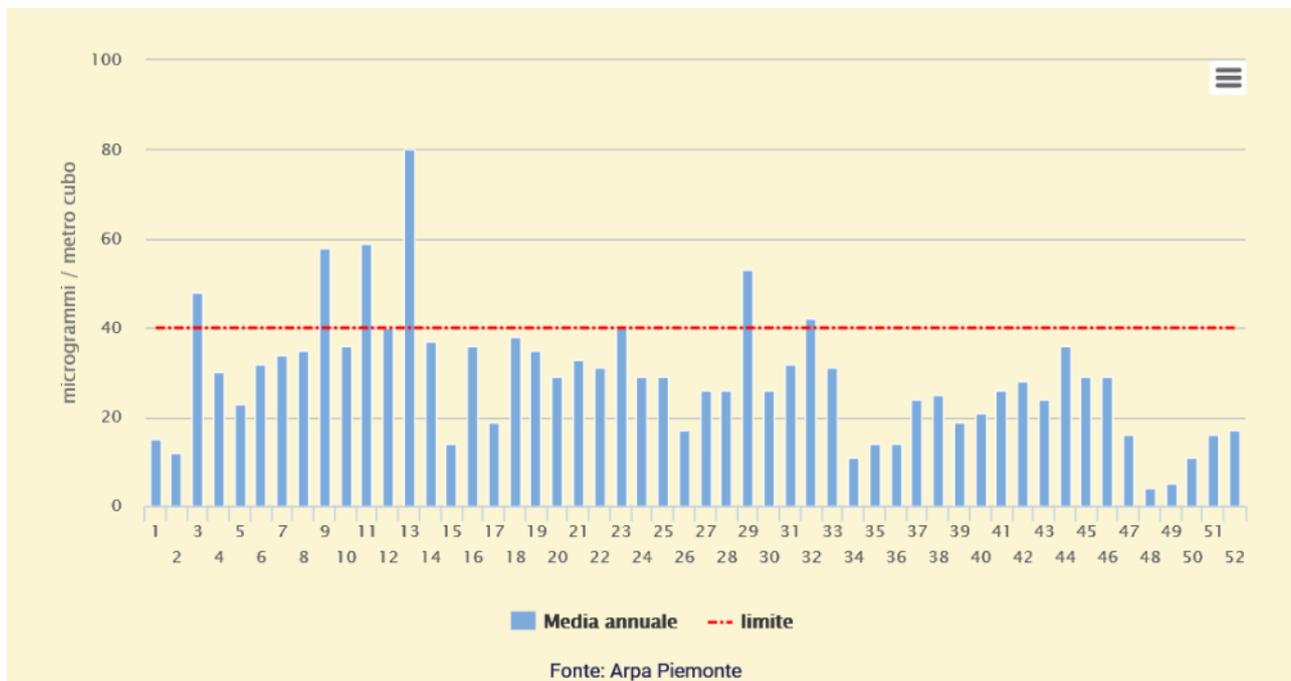


Figura 5.36 - NO₂, minima e massima media annua per provincia - anno 2017

I superamenti del valore limite annuale per la protezione della salute umana (40 µg/m³) sono avvenuti nelle stazioni di Novara-Roma, Beinasco-Aldo Mei (TO), Collegno-Francia (TO), Carmagnola-I° maggio (TO), Torino-Consolata e Torino-Rebaudengo. Tali punti sono collocati in contesti caratterizzati da un intenso traffico veicolare e/o da un'intensa antropizzazione del territorio.



Zona di Collina:

34 Dernice - Costa; 35 Vinchio - San Michele; 36 Saliceto - Moizo; 37 Castelletto T. - Fontane; 38 Ivrea - Liberazione; 39 Susa - Repubblica; 40 Cossato - Pace; 41 Alba - Tanaro; 42 Mondovì - Aragno; 43 Borgomanero - Mollì; 44 Oleggio - Gallarate; 45 Omegna - Crusinallo; 46 Verbania - Gabardi; 47 Borgosesia - Tonella.

Figura 5.37 - NO₂, medie annuali misurate nelle stazioni della rete regionale (stazioni con una percentuale di dati validi > 80%)

Le figure successive mostrano i dati di concentrazione di NO₂ e NOx registrati nelle stazioni della rete regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai nel periodo che va dal 2002 al 2013, stazione Mondovì Aragno dal 2014 al 2018 e stazione Saliceto Moizo dal 2000 al 2018.

Si nota come l'andamento stagionale sia molto netto: i periodi freddi (inverno ed autunno) non contribuiscono alla dispersione naturale degli inquinanti e quindi (unitamente al fatto che in tali periodi vi è la totalità dei riscaldamenti domestici ed industriali accesi) la media stagionale risulta molto alta.

La tendenza generale è di un abbassamento dei valori con l'aumentare degli anni, evento probabilmente dovuto al miglioramento delle combustioni (migliori tecnologie per le caldaie, rinnovo del parco auto, ecc...) e all'affinarsi di strategie di contenimento del problema.

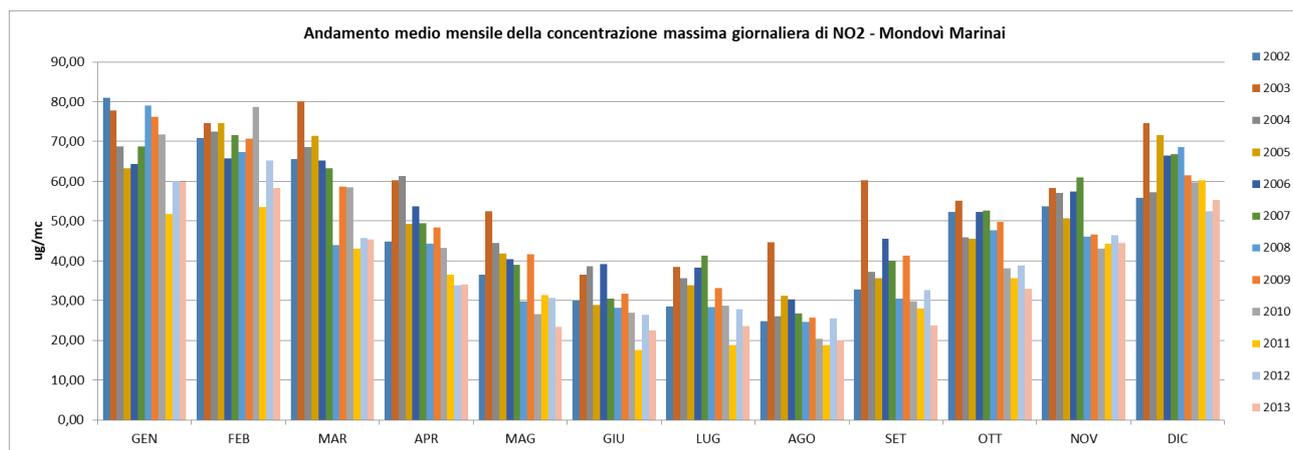


Figura 5.38 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il biossido di azoto registrata dal 2002 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

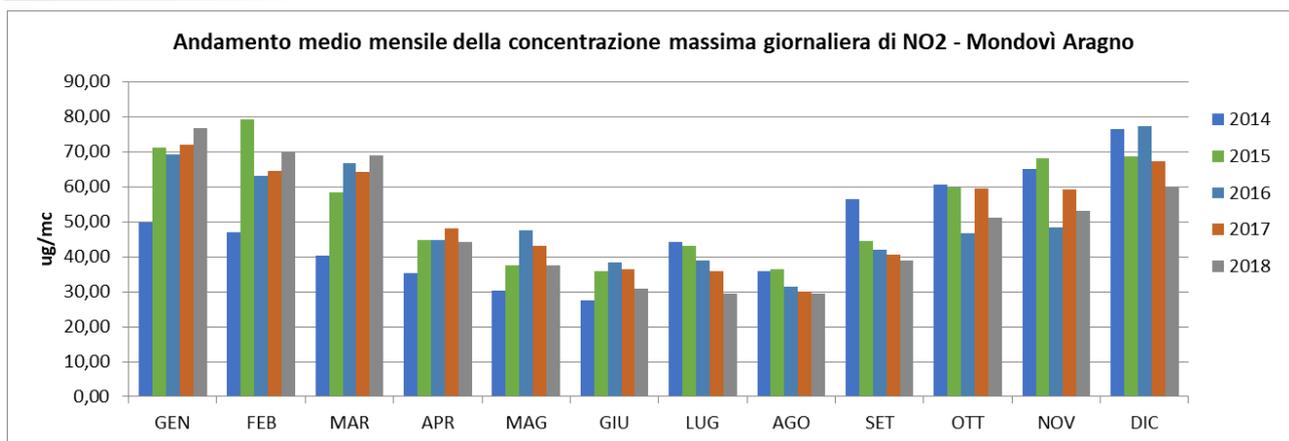


Figura 5.39 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il biossido di azoto registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

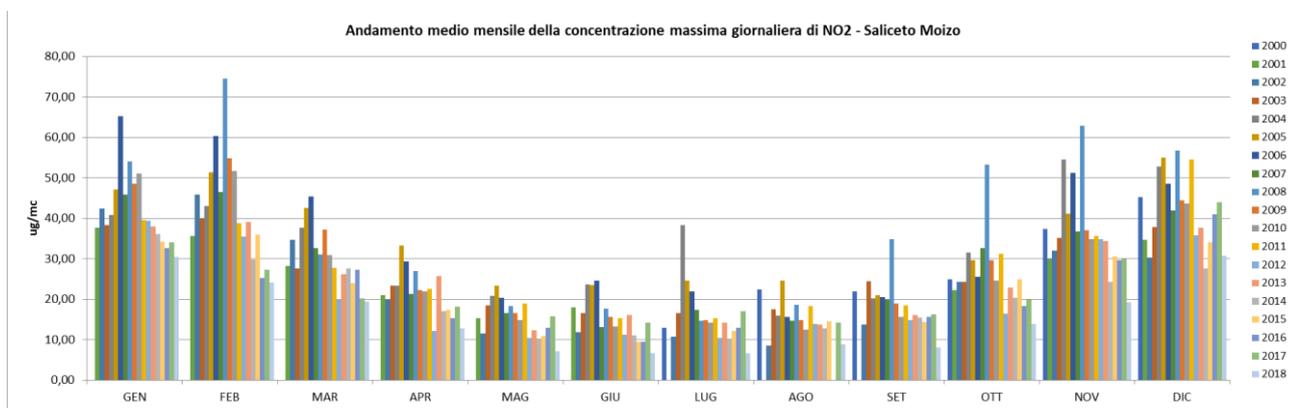


Figura 5.40 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il biossido di azoto registrata dal 2000 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

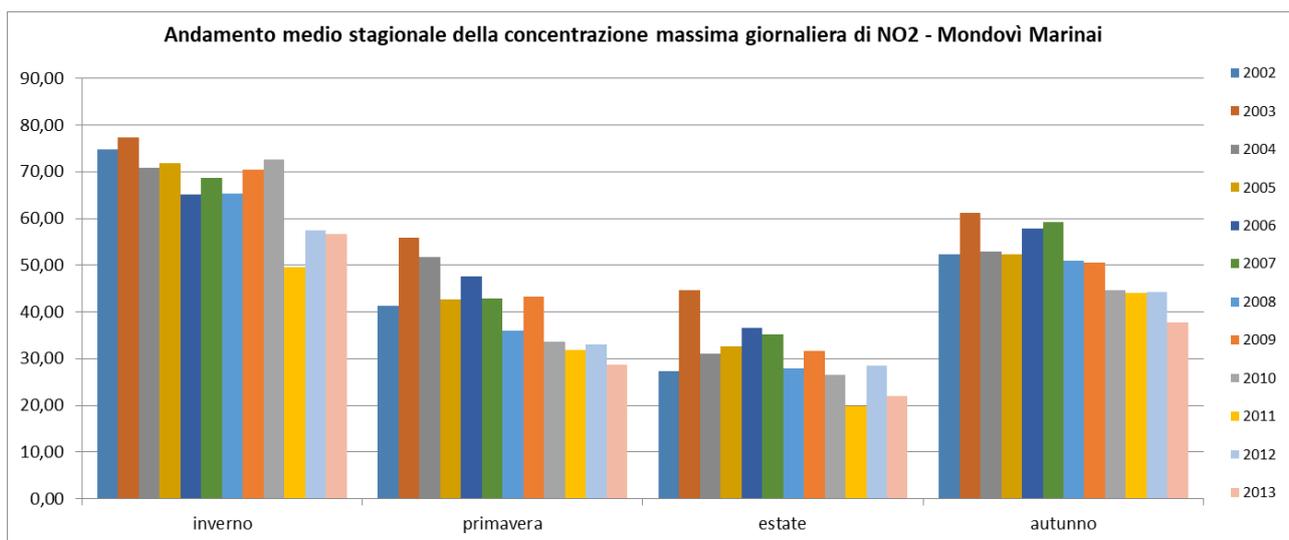


Figura 5.41 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il biossido di azoto registrata dal 2002 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

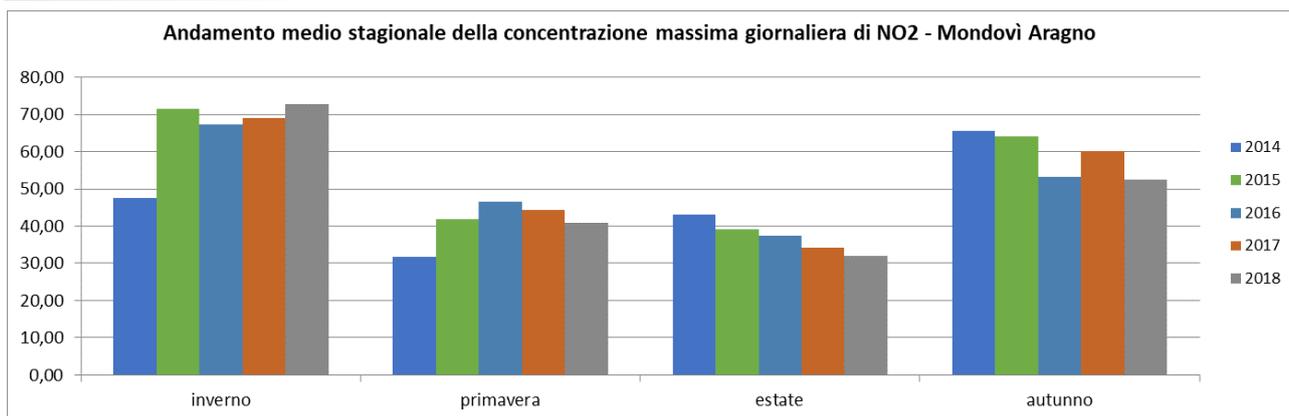


Figura 5.42 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il biossido di azoto registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

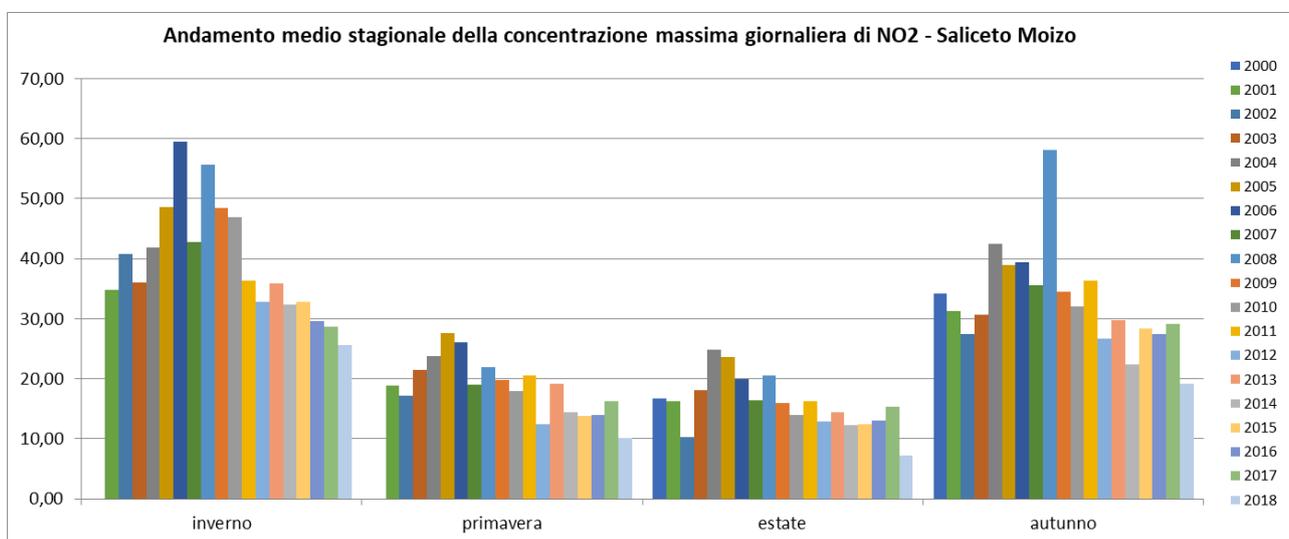


Figura 5.43 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il biossido di azoto registrata dal 2000 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

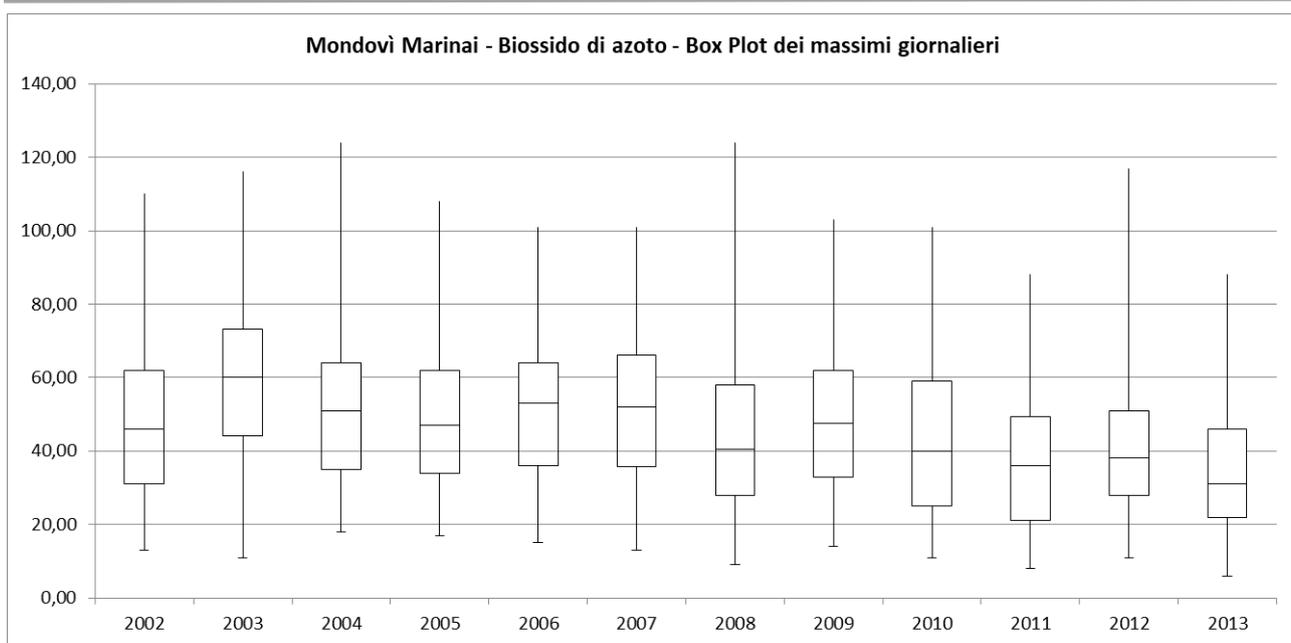


Figura 5.44 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di NO₂ registrata dal 2002 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

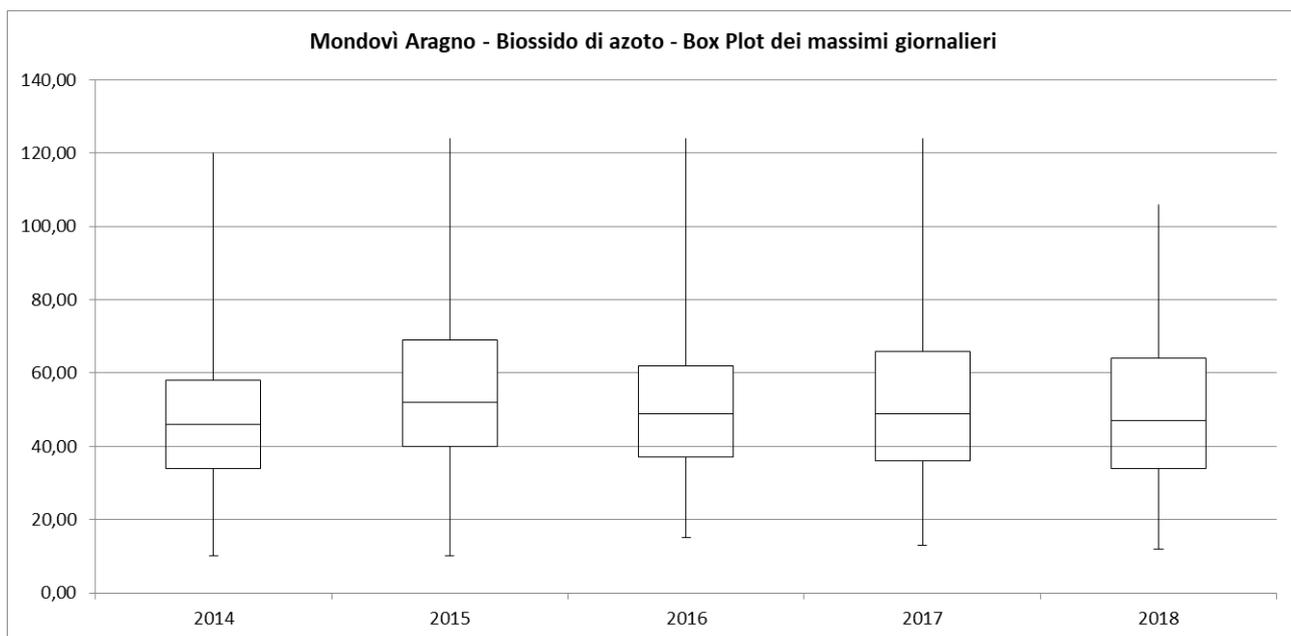


Figura 5.45 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di NO₂ registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

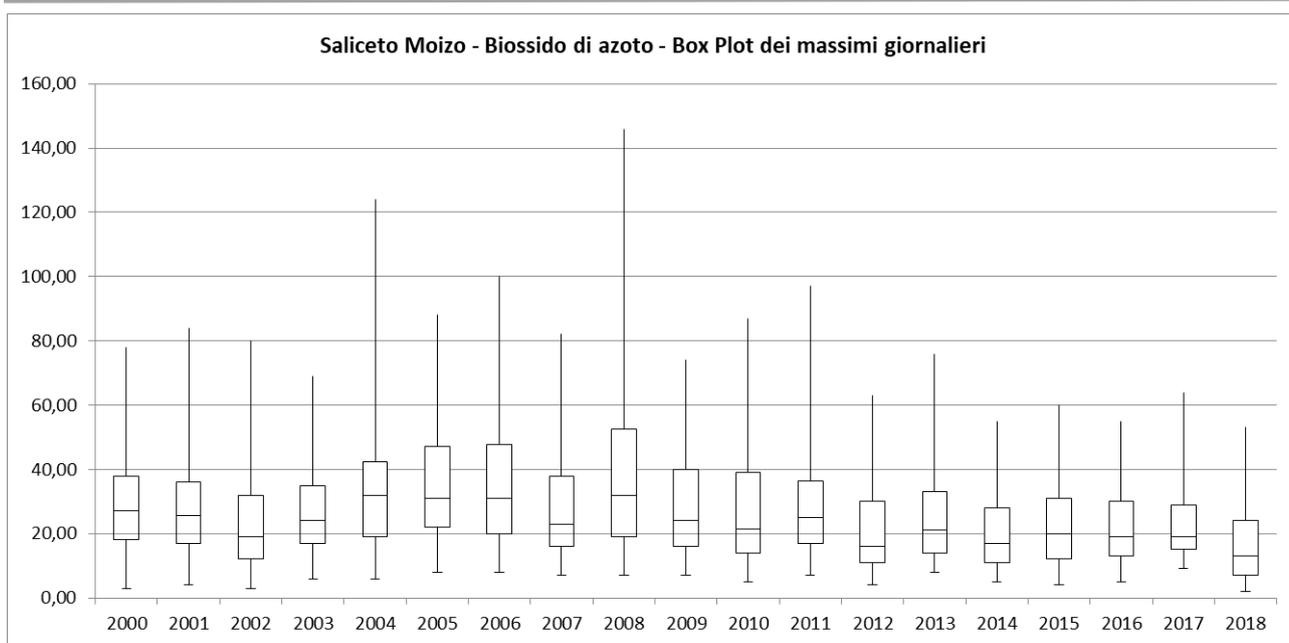


Figura 5.46 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di NO₂ registrata dal 2000 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

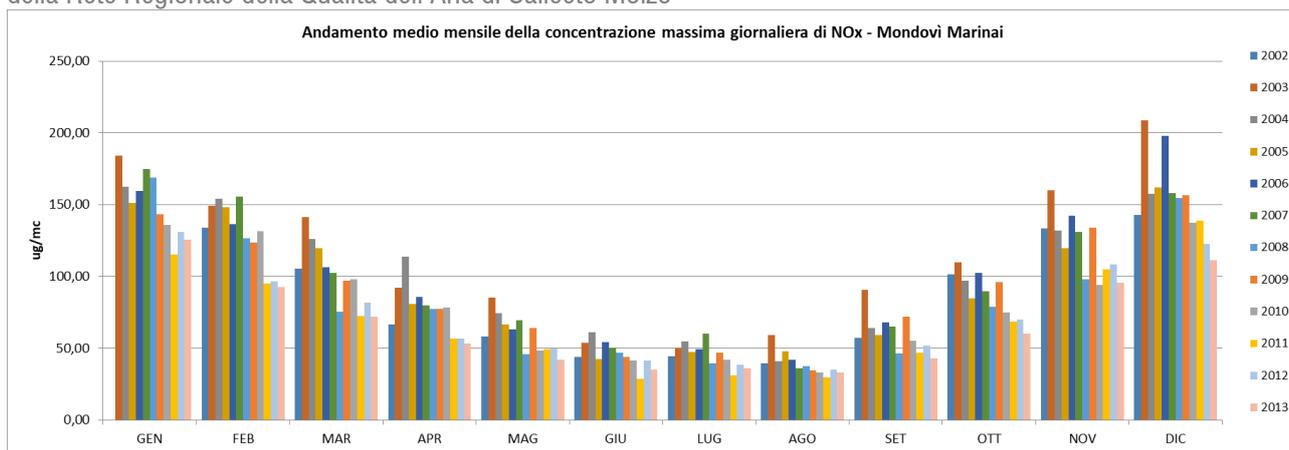


Figura 5.47 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per gli ossidi totali di azoto registrata dal 2002 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

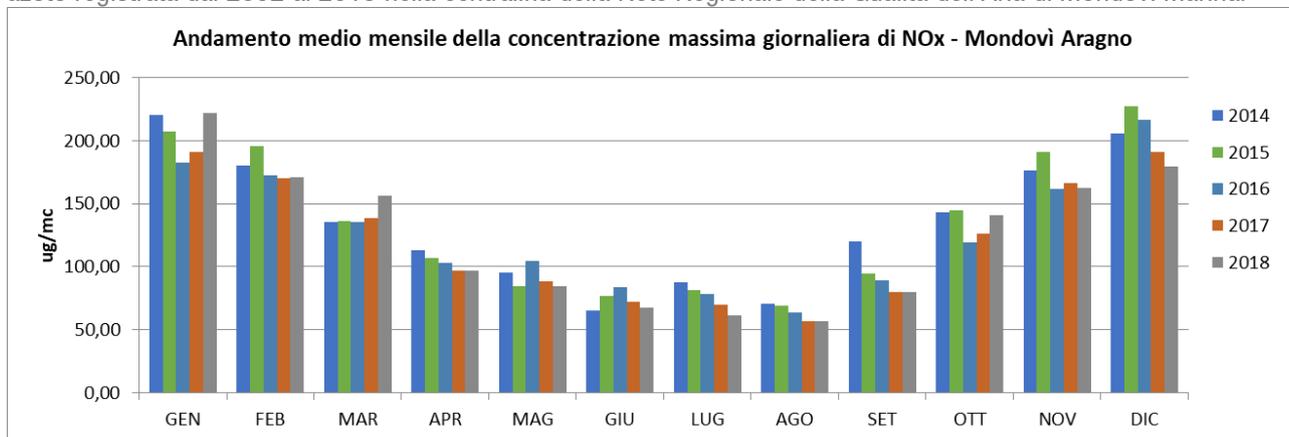


Figura 5.48 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per ossidi totali di azoto registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

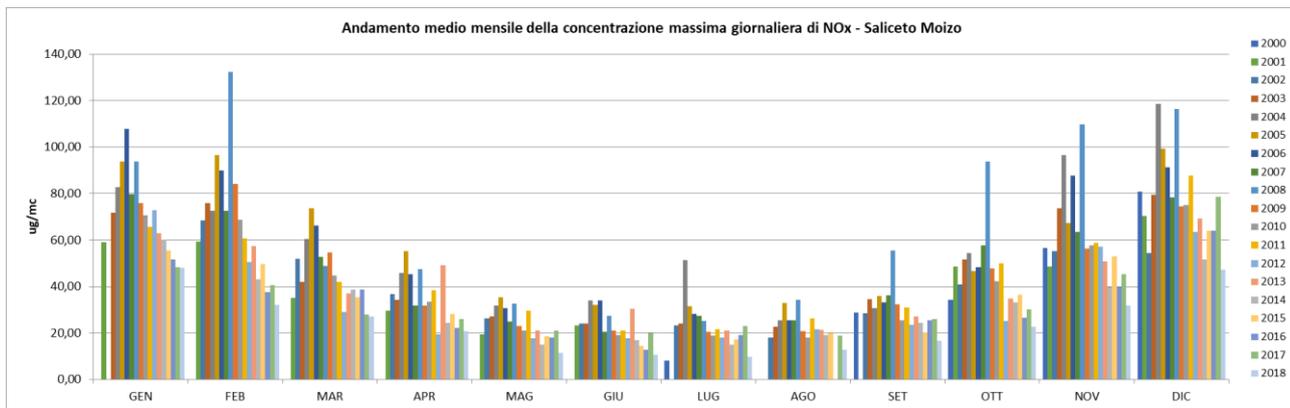


Figura 5.49 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per ossidi totali di azoto registrata dal 2000 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

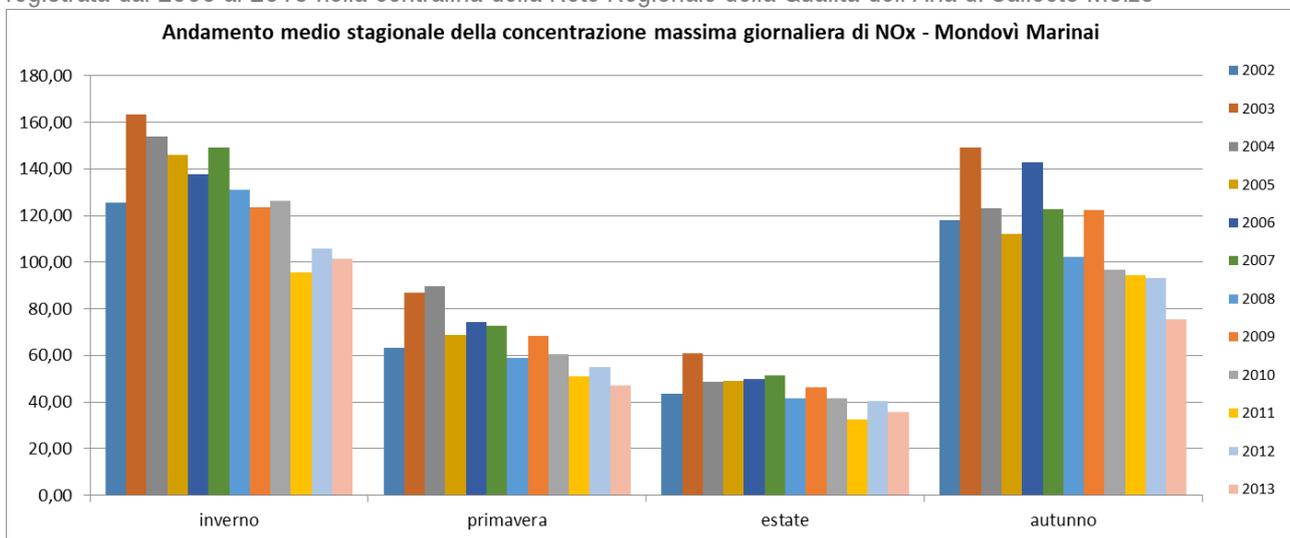


Figura 5.50 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per ossidi totali di azoto registrata dal 2002 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

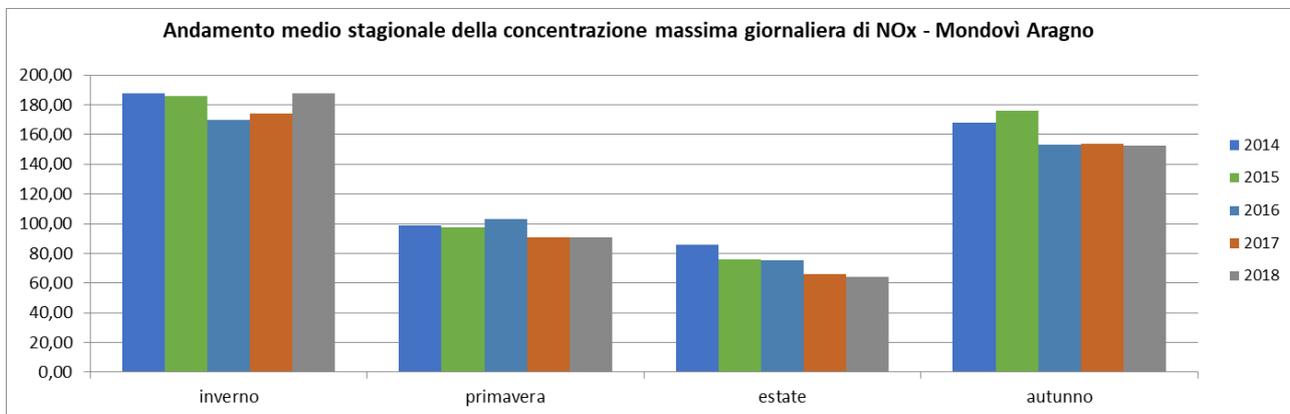


Figura 5.51 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per ossidi totali di azoto registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

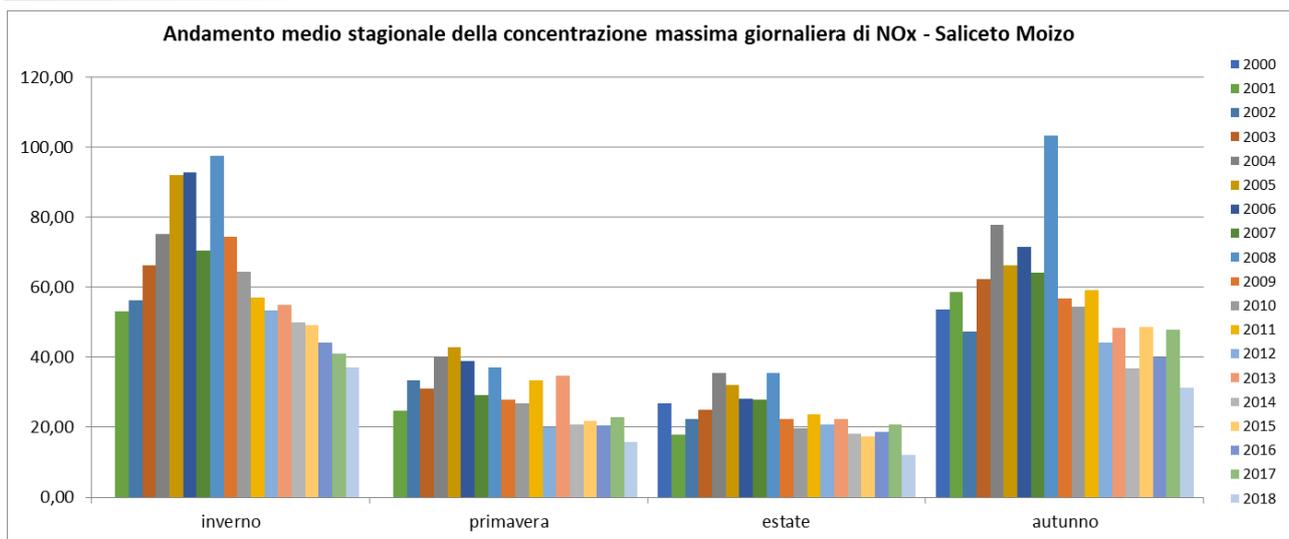


Figura 5.52 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per ossidi totali di azoto registrata dal 2000 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

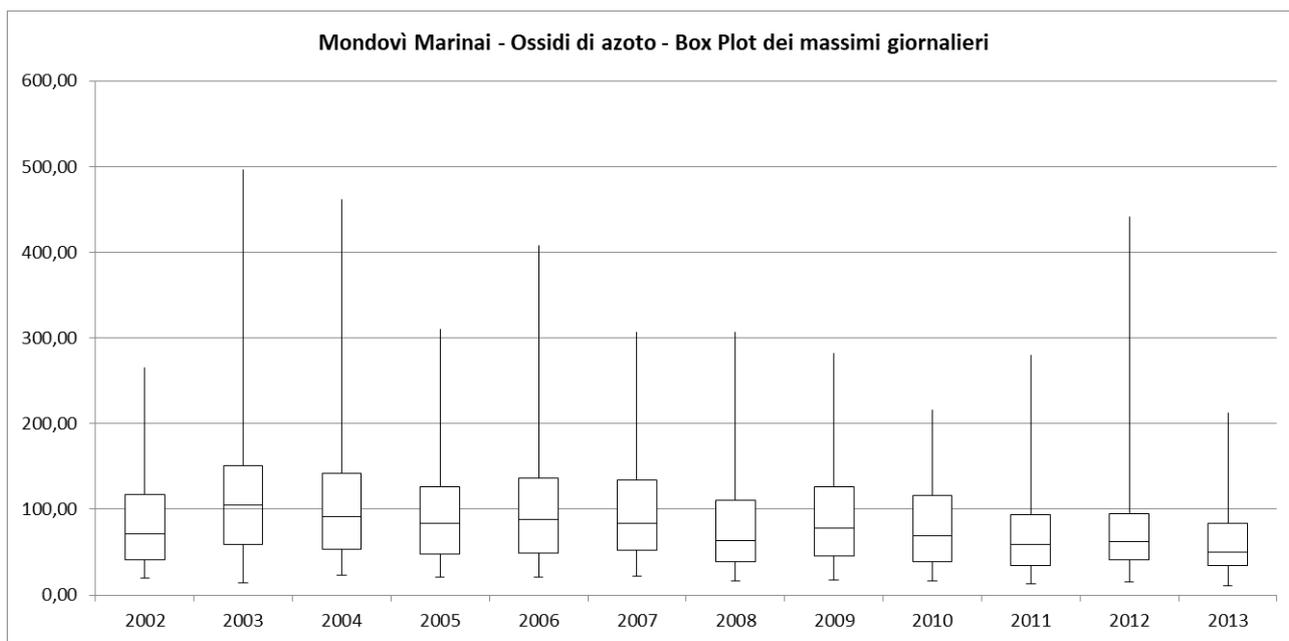


Figura 5.53 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di NOx registrata dal 2002 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

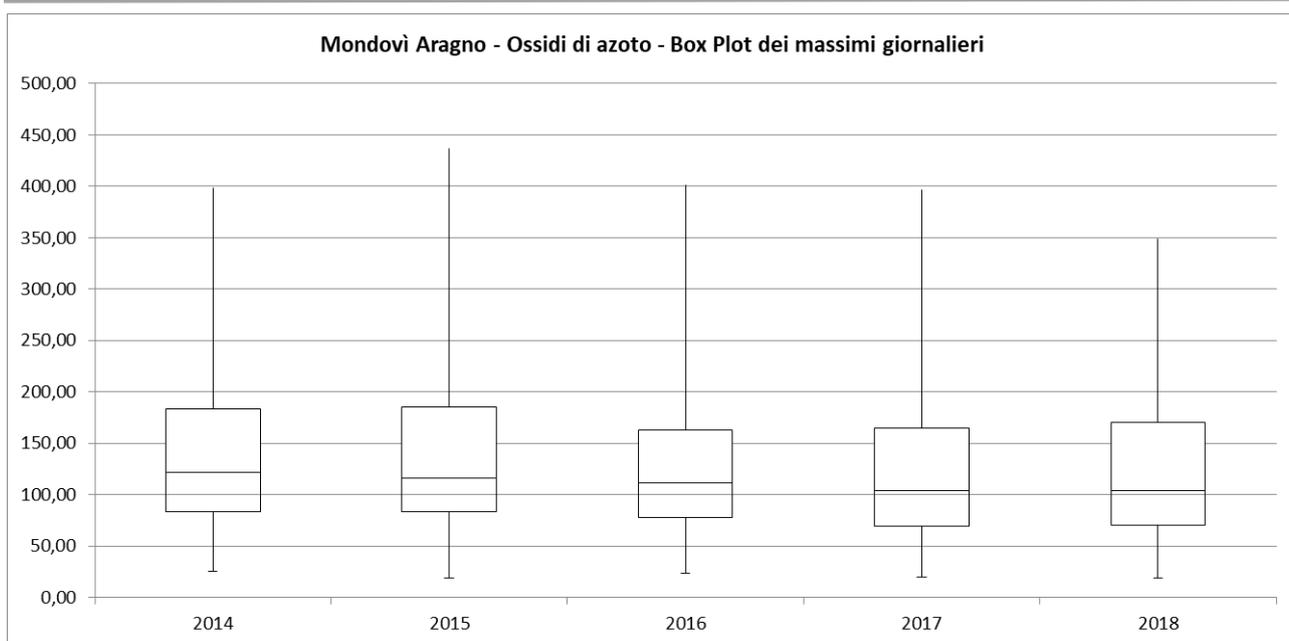


Figura 5.54 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di NOx registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

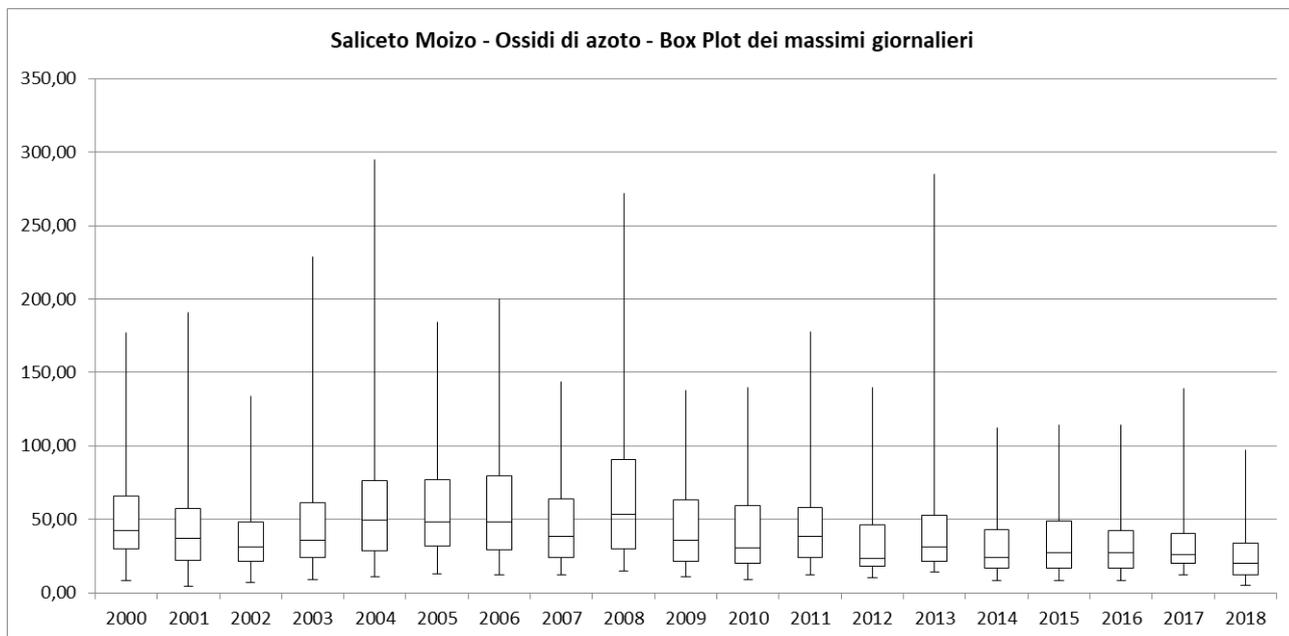


Figura 5.55 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di NOx registrata dal 2000 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

Biossido di zolfo

Nel 2017 sono state misurate le concentrazioni del **biossido di zolfo** nelle stazioni della rete regionale del Piemonte non rilevando **alcun superamento** dei valori limite per la protezione della salute umana sia a livello orario ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3$) che giornaliero ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Le figure successive mostrano l'andamento dei valori massimi giornalieri della concentrazione di anidride solforosa (SO_2) nella stazione della rete regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo registrati dal 2000 al 2009.

I valori registrati risultano ampiamente inferiori al limite previsto da normativa.

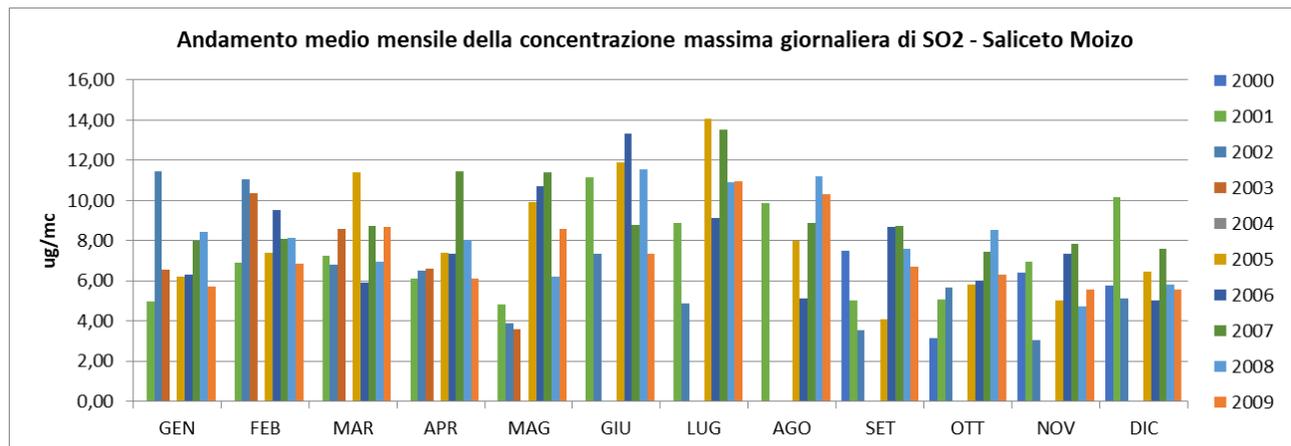


Figura 5.56 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il biossido di zolfo registrata dal 2000 al 2009 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

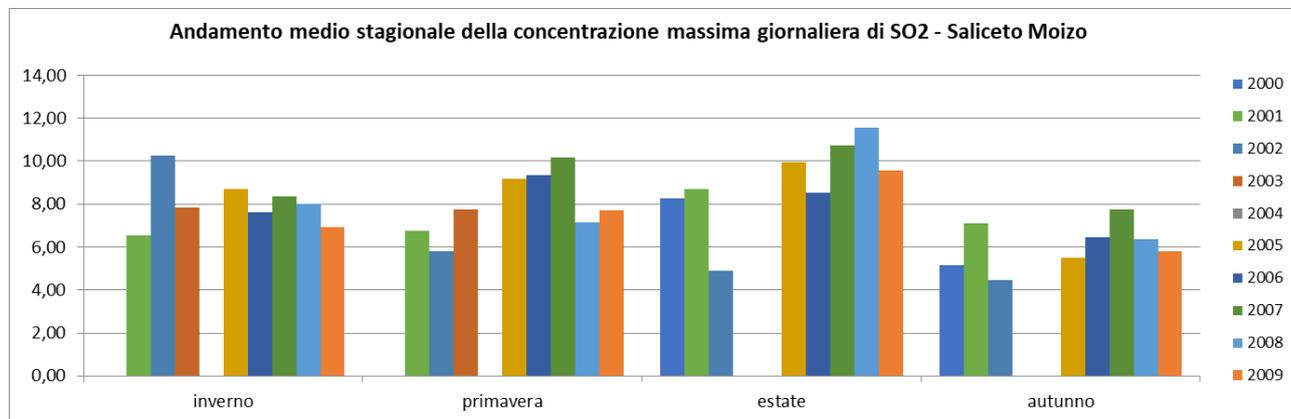


Figura 5.57 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il biossido di zolfo registrata dal 2000 al 2009 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

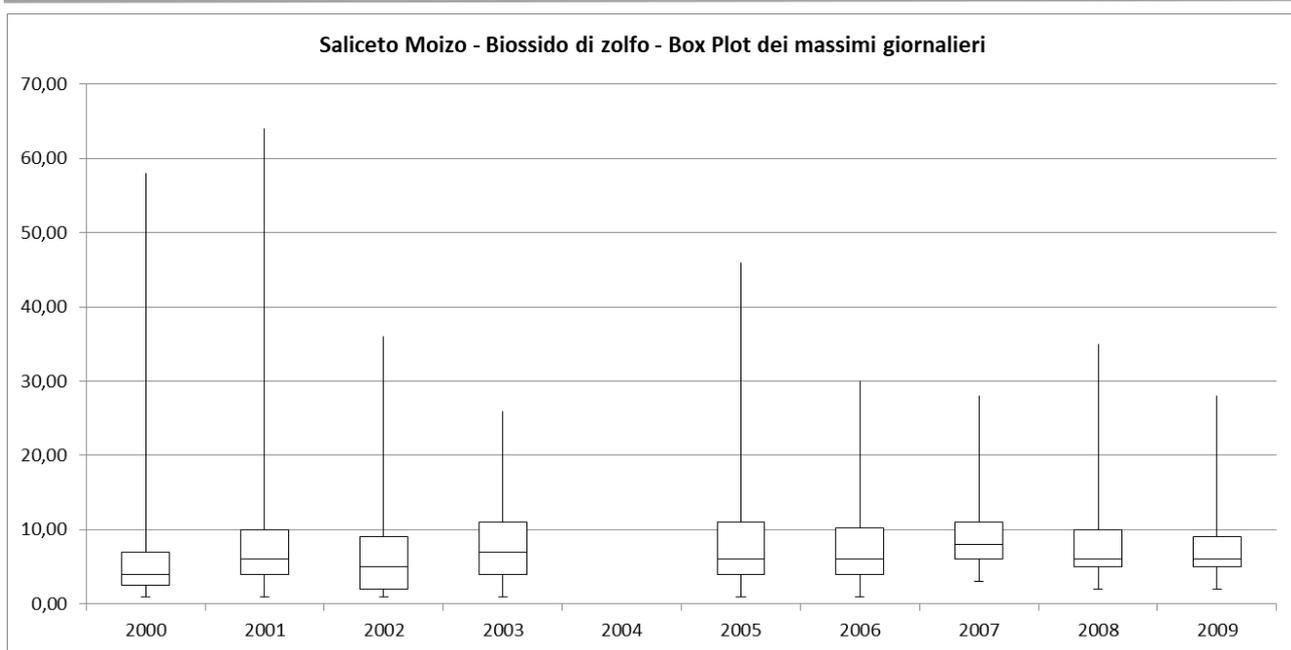


Figura 5.58 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di SO₂ registrata dal 2000 al 2009 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

Monossido di carbonio

Nel 2017 le misure delle concentrazioni del **monossido di carbonio** nelle stazioni delle rete regionale non hanno rilevato nessun **superamento** del valore limite per la protezione della salute umana calcolato come media massima giornaliera calcolata su 8 ore e pari a 10 mg/m³.

Le figure successive mostrano l'andamento dei valori massimi giornalieri della concentrazione di monossido di carbonio (CO) registrati nelle stazioni della rete regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai nel periodo che va dal 2002 al 2009, stazione Mondovì Aragno dal 2014 al 2018 e stazione Saliceto Moizo dal 2000 al 2009.

Il valore da non superare per la protezione della salute umana è 10 mg /mc, e tale valore non viene mai superato, inoltre la tendenza generale è di un abbassamento dei valori con l'aumentare degli anni.

Si nota come l'andamento stagionale sia molto netto: i periodi freddi (inverno ed autunno) non contribuiscono alla dispersione naturale degli inquinanti e quindi (unitamente al fatto che in tali periodi vi è la totalità dei riscaldamenti domestici ed industriali accesi) la media stagionale risulta più alta.

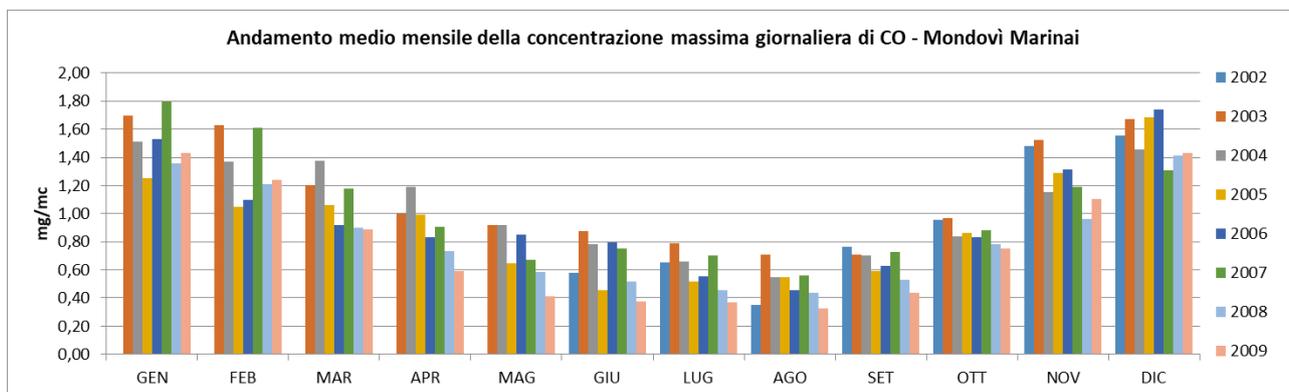


Figura 5.59 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il monossido di carbonio registrata dal 2002 al 2009 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

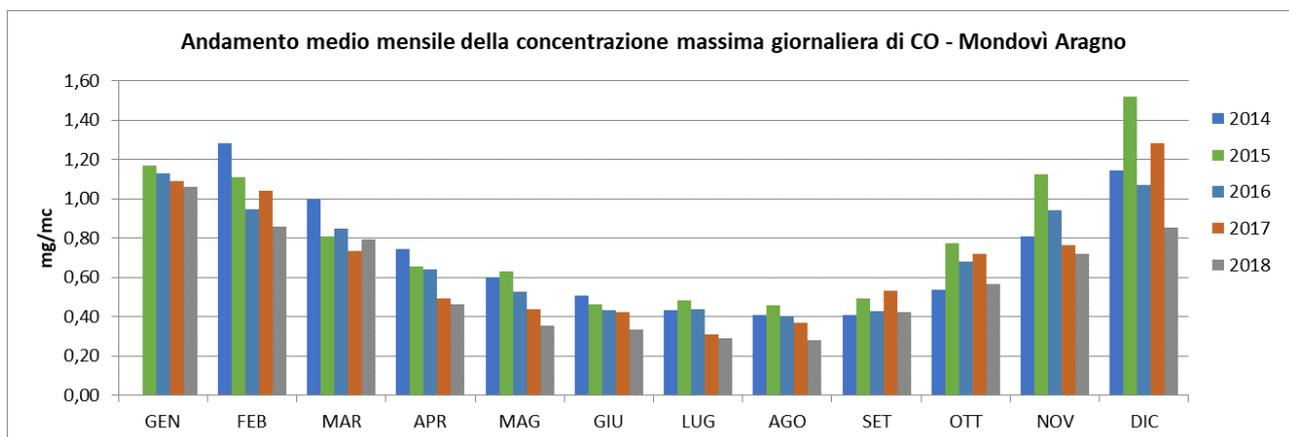


Figura 5.60 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il monossido di carbonio registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

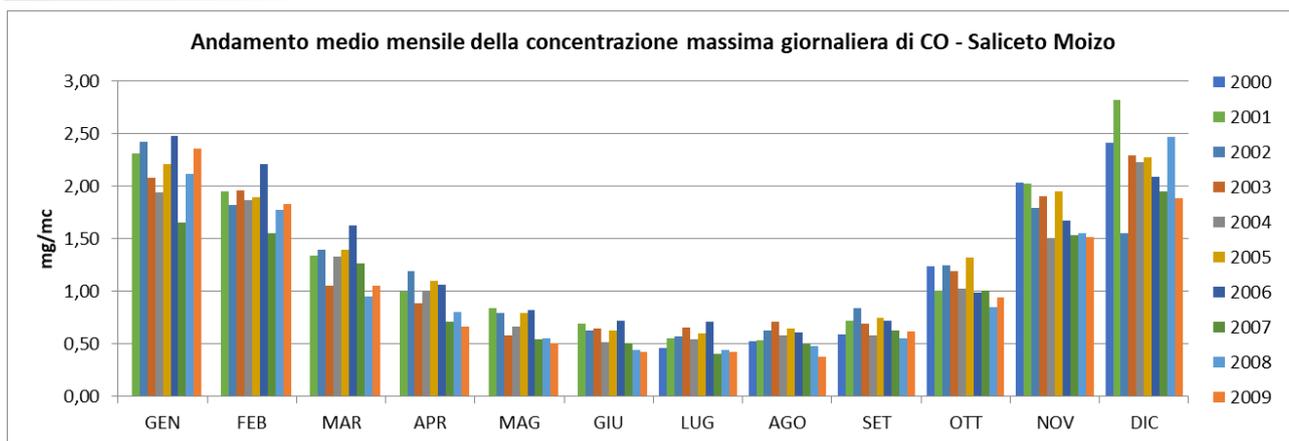


Figura 5.61 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il monossido di carbonio registrata dal 2000 al 2009 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

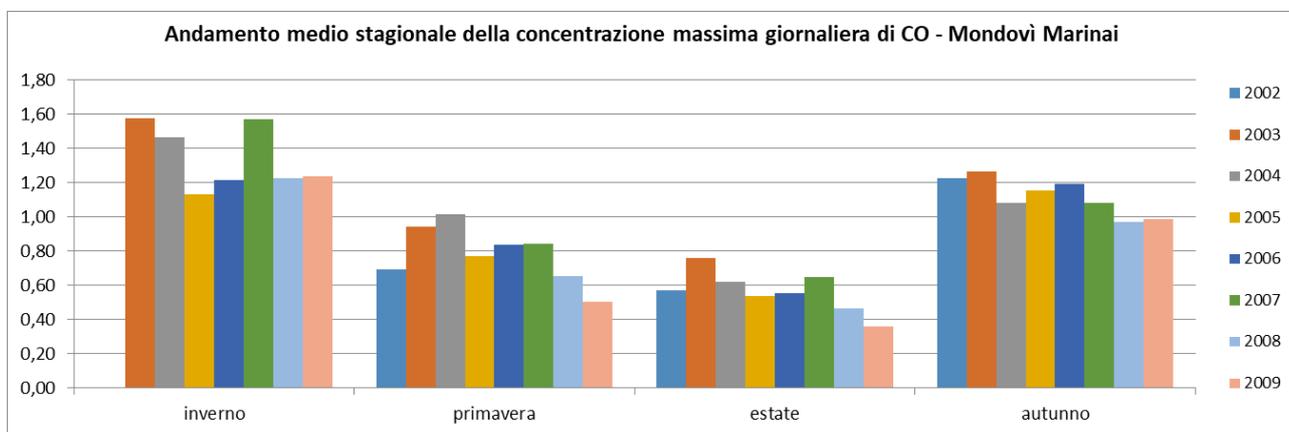


Figura 5.62 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il monossido di carbonio registrata dal 2002 al 2009 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

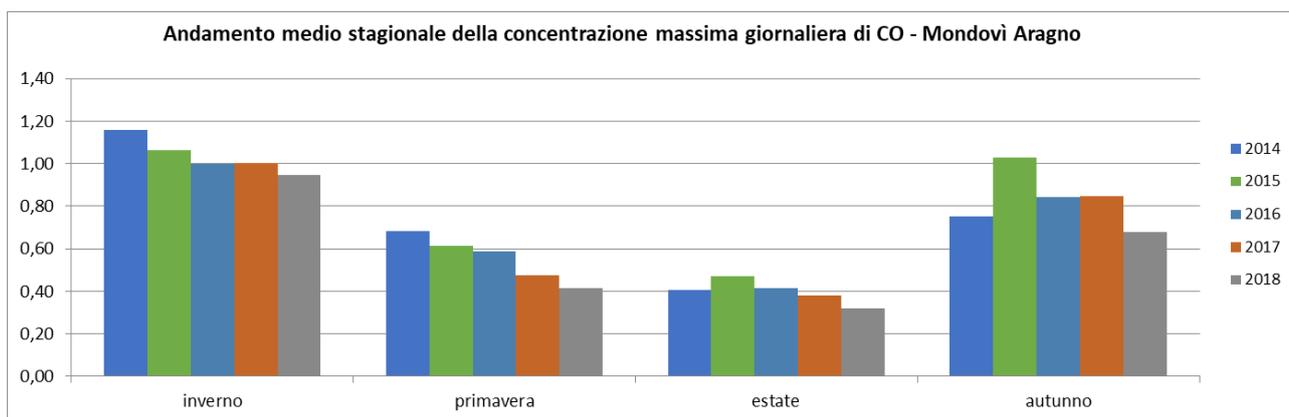


Figura 5.63 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il monossido di carbonio registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

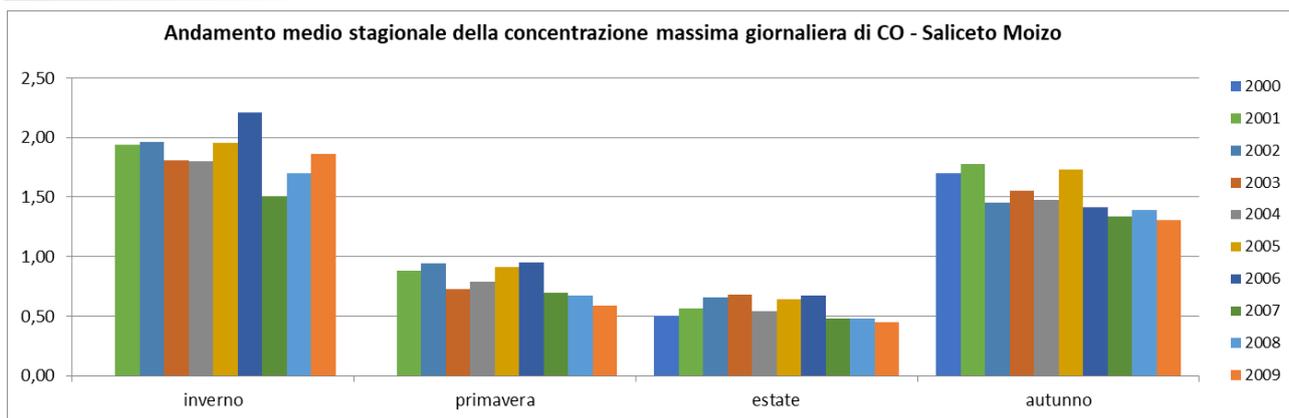


Figura 5.64 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per il monossido di carbonio registrata dal 2000 al 2009 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

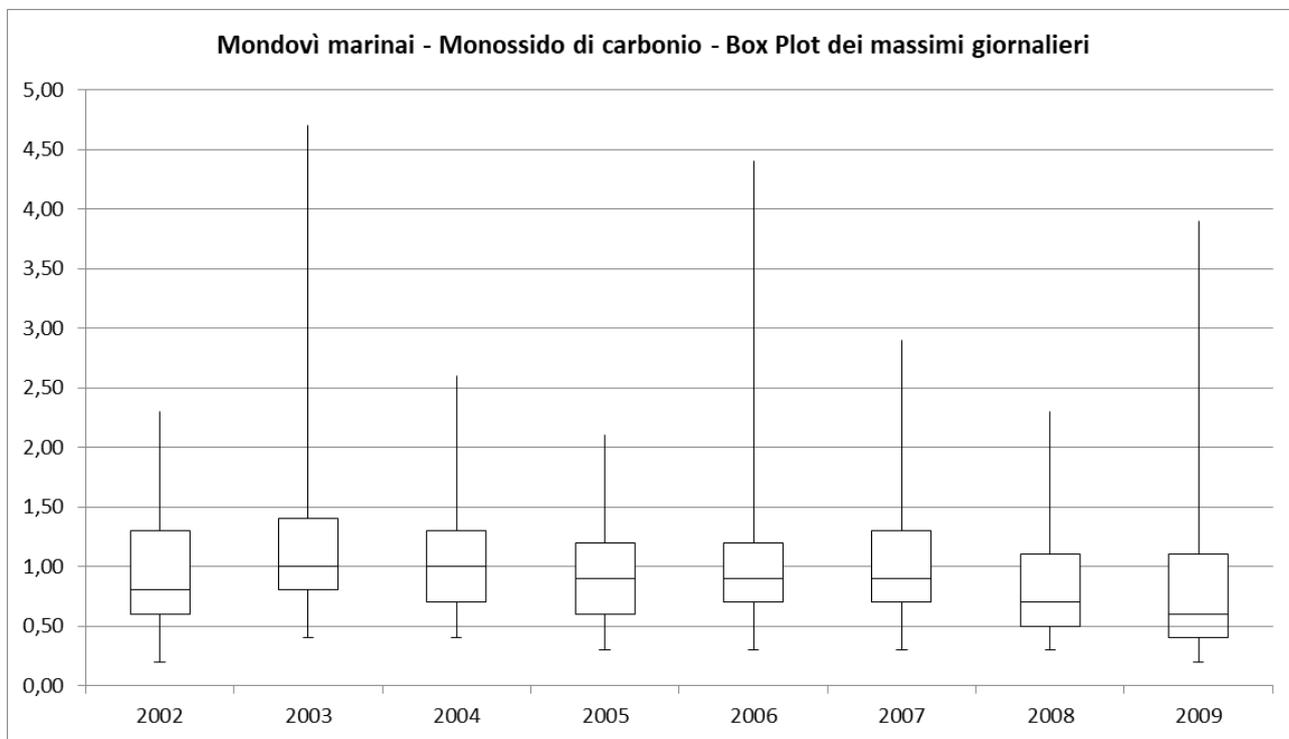


Figura 5.65 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di CO registrata dal 2002 al 2009 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

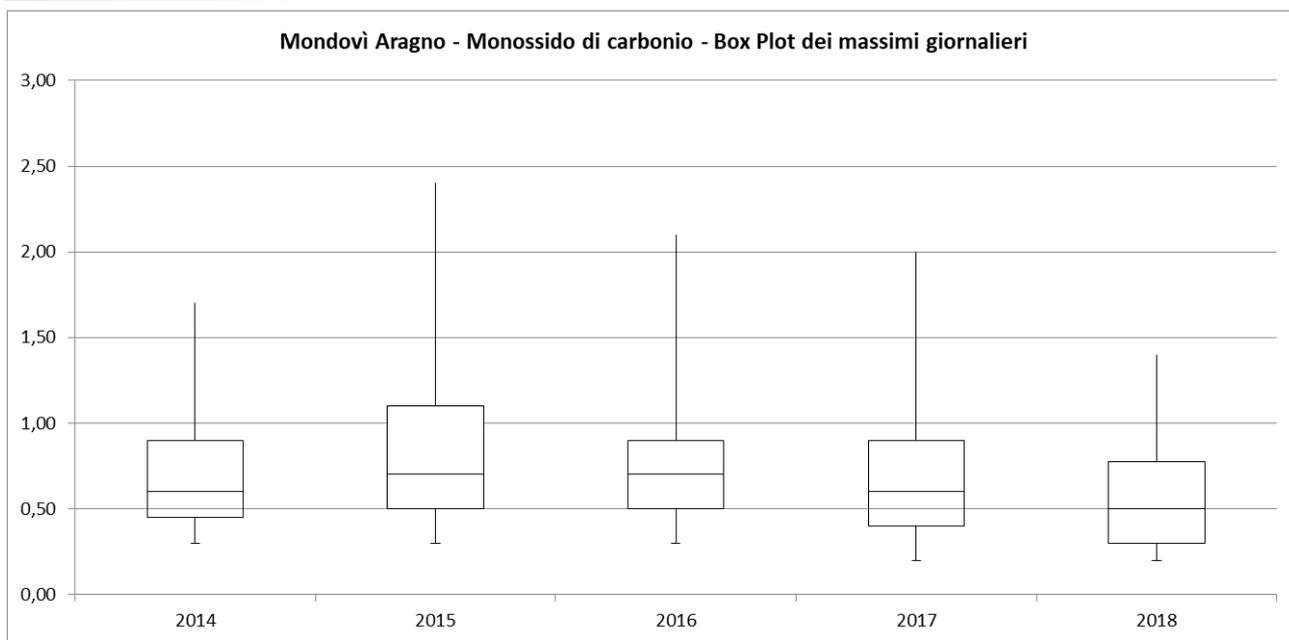


Figura 5.66 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di CO registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

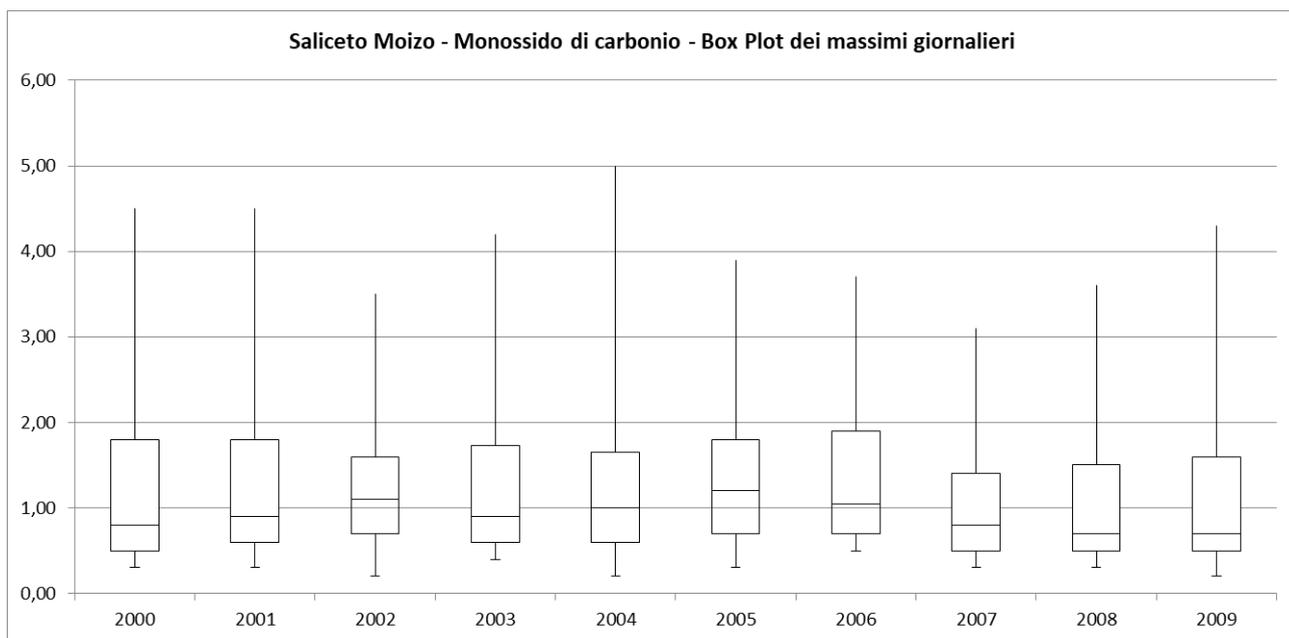


Figura 5.67 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di CO registrata dal 2000 al 2009 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

Ozono

La figura seguente evidenzia il numero di superamenti del valore obiettivo a lungo termine di Ozono, pari a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il massimo valore giornaliero della media mobile su 8 ore, registrato nelle stazioni della rete regionale del Piemonte nel 2017. Tale valore non può essere superato più di 25 volte/anno come media su 3 anni.

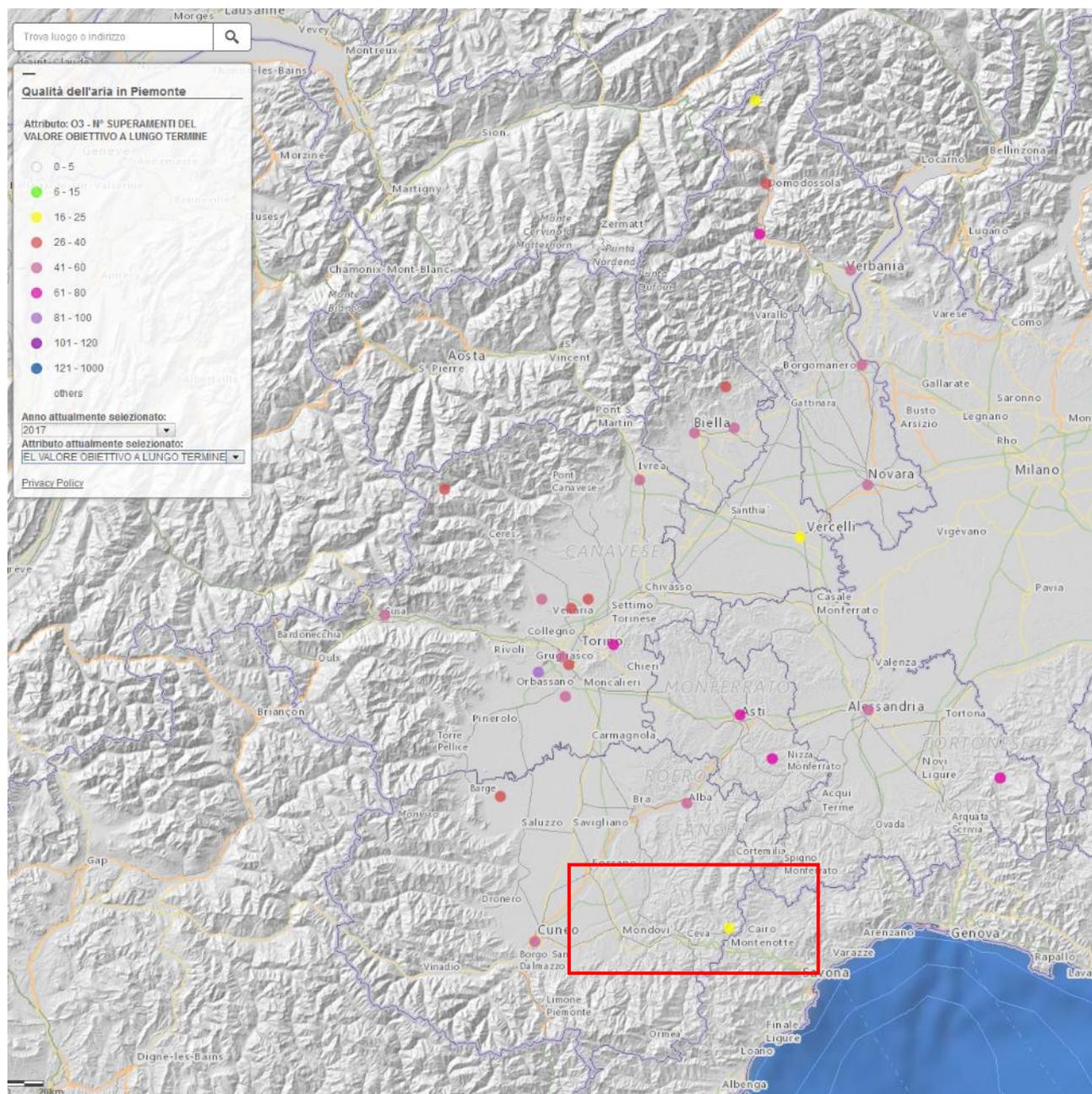


Figura 5.68 - Numero di superamenti registrati per stazione del Valore Obiettivo a lungo termine di Ozono ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nel 2017

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dal sistema modellistico di Arpa Piemonte relativamente al numero di superamenti del valore obiettivo a lungo termine dell'ozono per i vari comuni della regione riferiti all'anno 2015.

Per quanto riguarda il Comune di Mondovì le simulazioni mostrano un numero di superamenti leggermente maggiore rispetto ai limiti previsti da normativa.

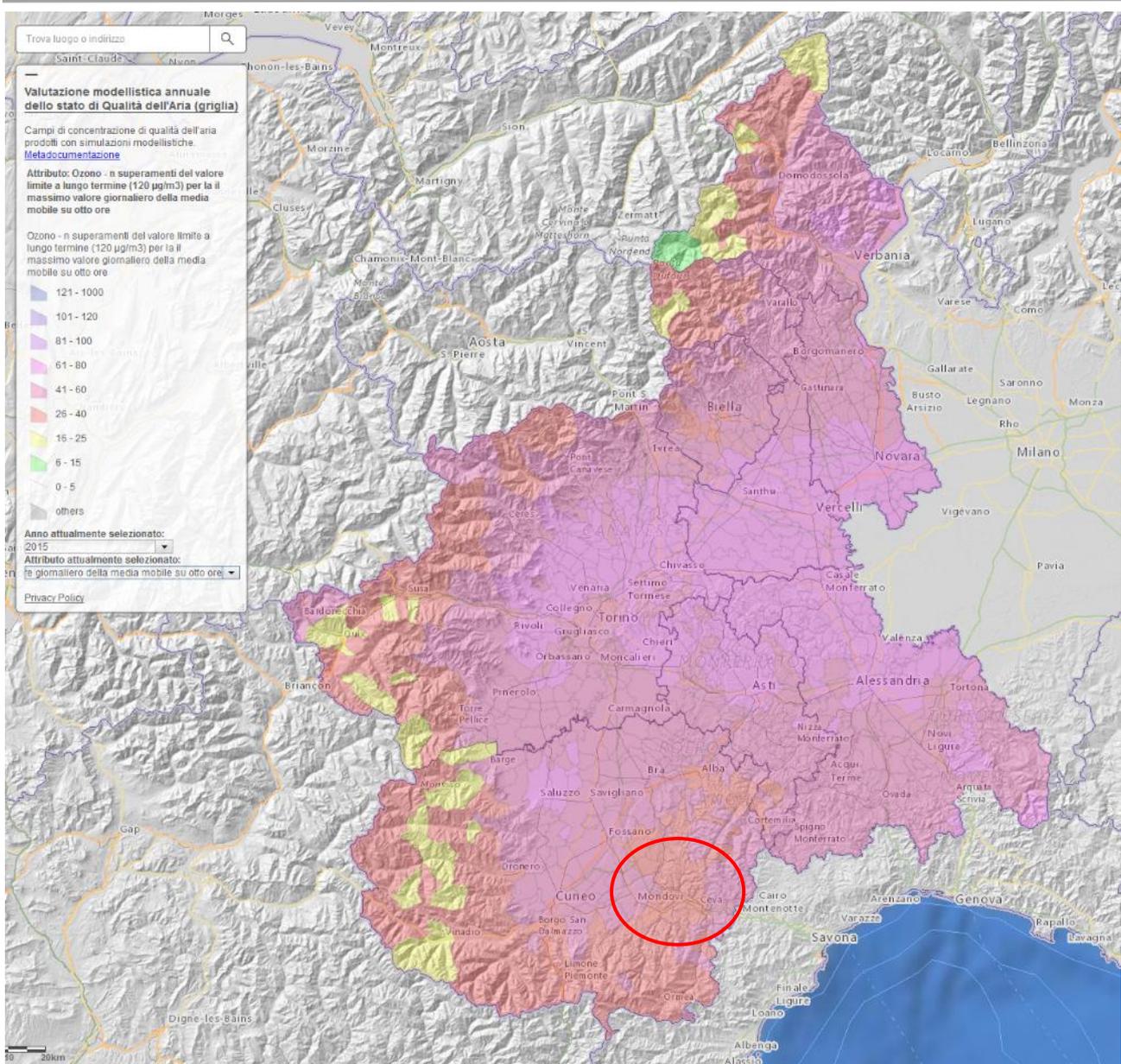


Figura 5.69 - Numero di superamenti del Valore Obiettivo a lungo termine di Ozono (120 µg/m³) nel 2015 stimati per i vari comuni del Piemonte con il sistema modellistico

Il numero medio dei giorni nei quali è superato il valore obiettivo denota una tendenza alla diminuzione per tutte le zone considerate: rurali, urbane e suburbane. Nella serie risaltano in modo peculiarmente opposto l'anno 2003, durante il quale la situazione meteorologica ha fortemente favorito la formazione di ozono, e il 2014 nel quale la meteorologia del periodo estivo ne ha invece sfavorito fortemente la formazione.

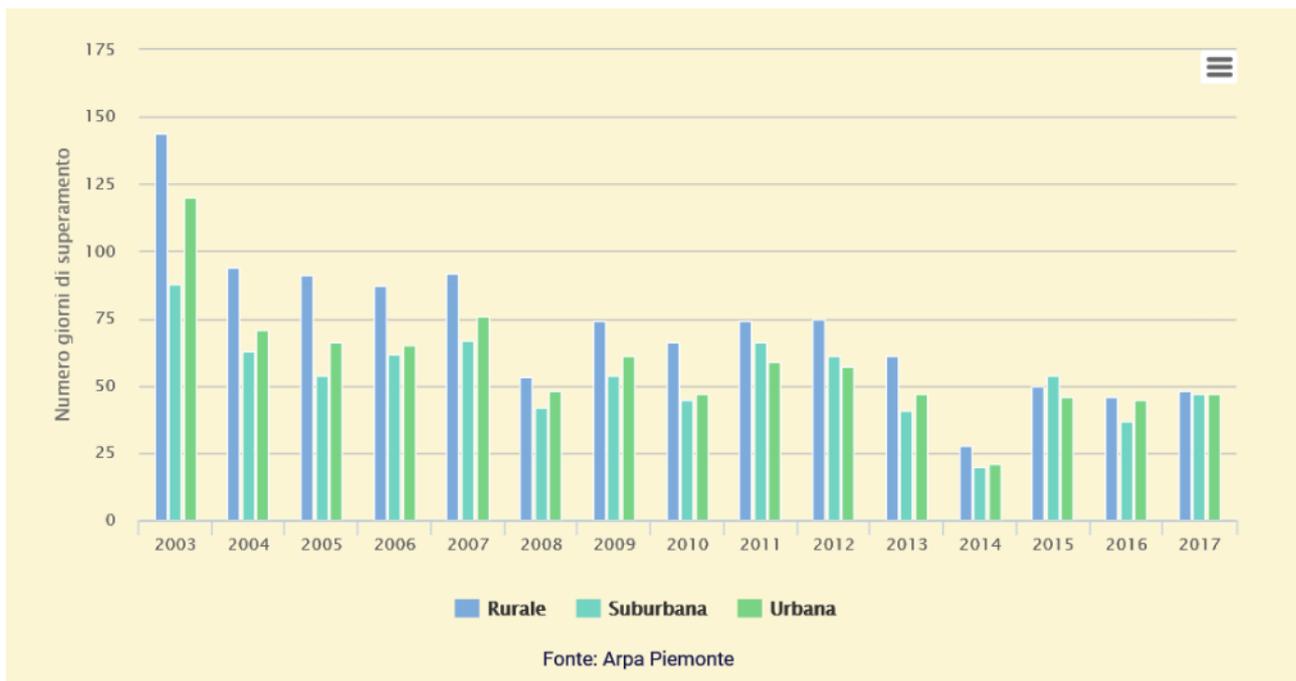


Figura 5.70 - O₃, andamento del numero giorni di superamenti - anni 2003-2017

La concentrazione media misurata nei mesi più caldi dell'anno, da maggio a settembre, conferma il decremento dei valori, seppure in modo assai più contenuto e con stazionarietà negli ultimi tre anni, in tutte le zone prese in considerazione: rurali, urbane e suburbane.

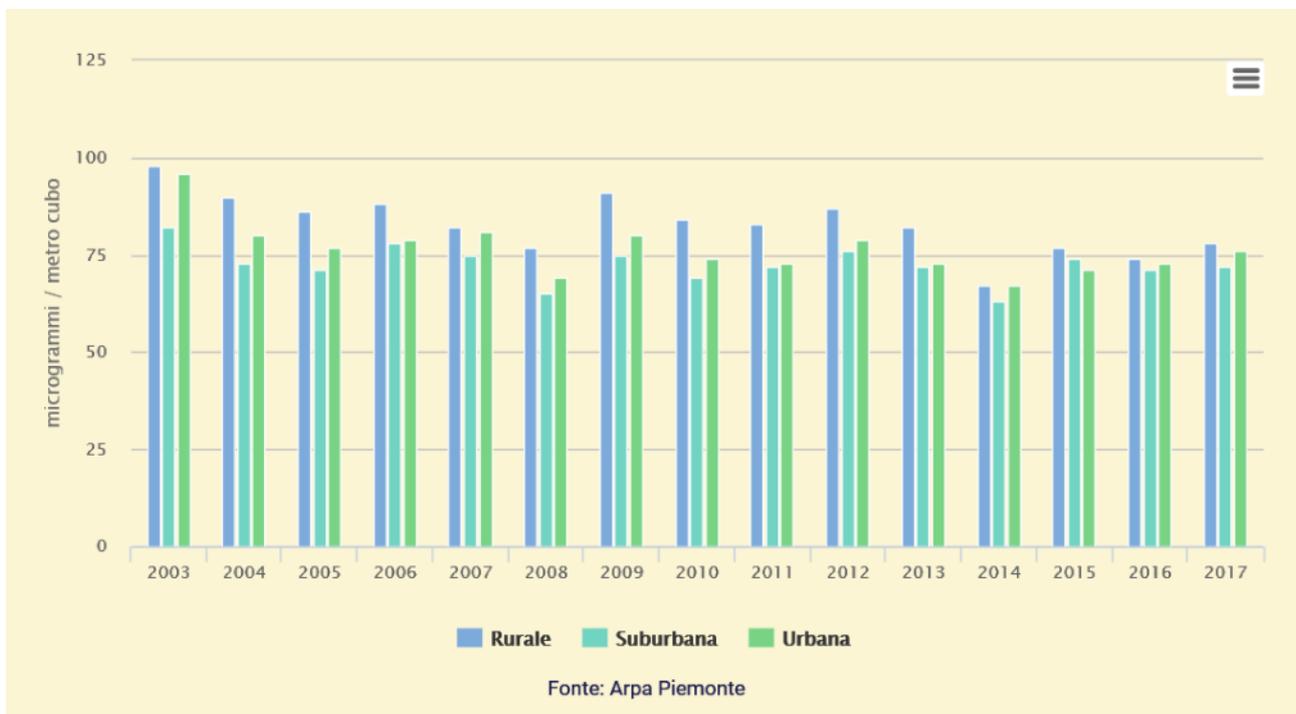


Figura 5.71 - O₃, andamento della concentrazione - anni 2003-2017

Il valore obiettivo a lungo termine sulle 8 ore risulta superato nel 90% delle stazioni della rete.

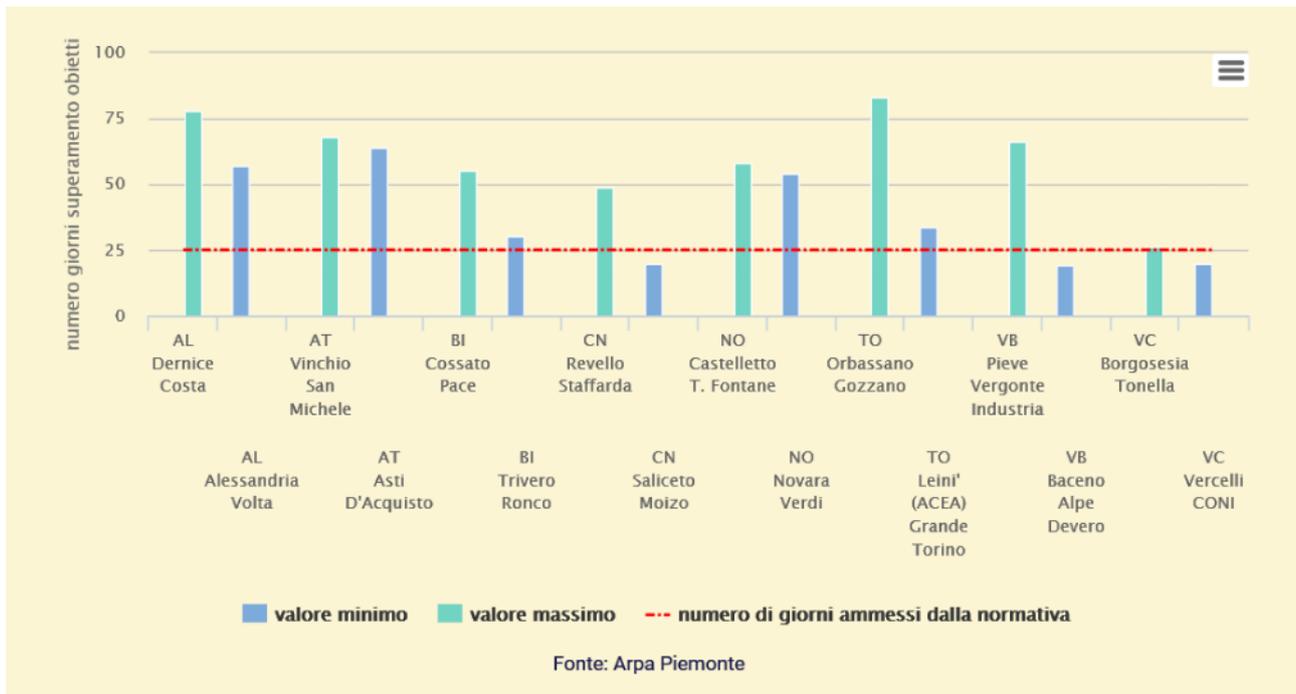


Figura 5.72 - O₃, Superamenti a livello provinciale - anno 2017

Per quanto riguarda l'AOT40 per la protezione della vegetazione – indicatore che utilizza la somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ rilevate da maggio a luglio – sono state utilizzate le stazioni individuando i valori massimi per Zona UE, di fondo rurale o suburbano, con almeno il 90% dei dati validi disponibili o in subordine utilizzando il valore stimato.

Arpa Piemonte ha calcolato il valore di AOT40 – espresso in µg/m³ x h - sui dati del 2017, a differenza di quanto prescritto dalla normativa che prevede una media sugli ultimi 5 anni consecutivi, per avere una migliore rappresentazione dell'andamento temporale dell'indicatore.

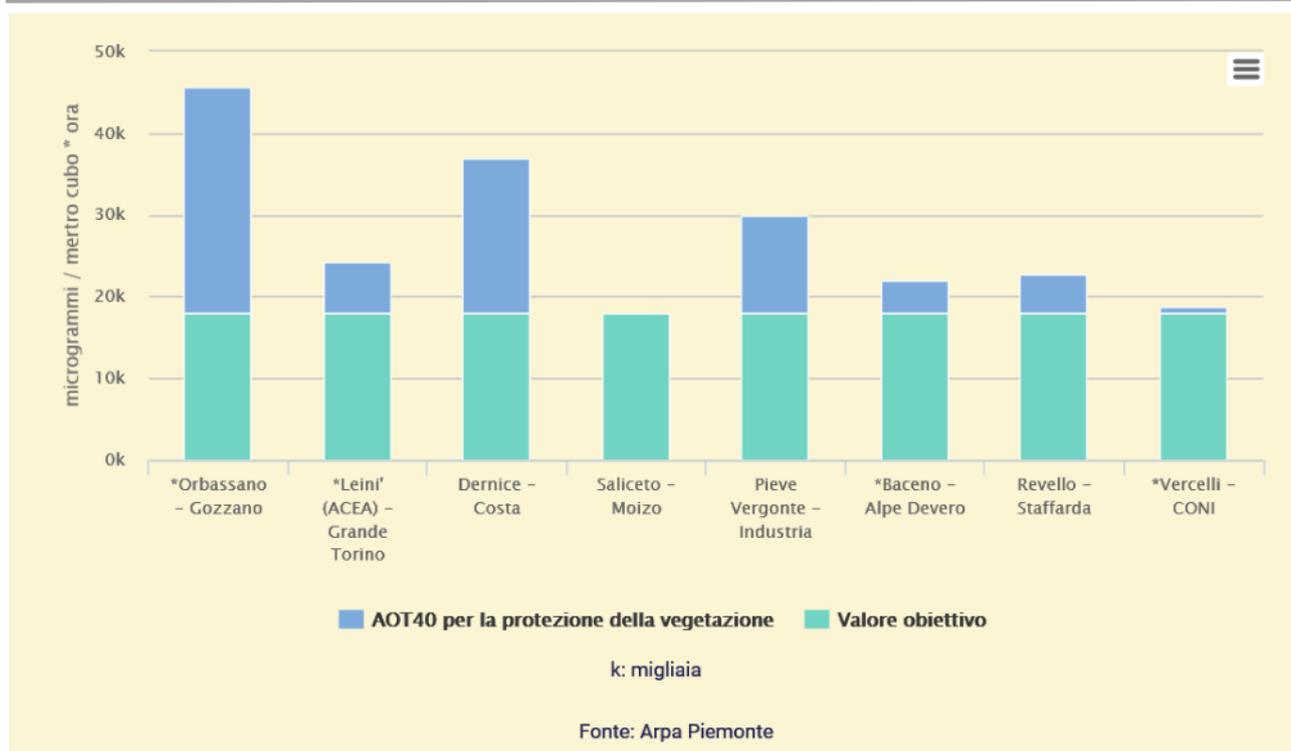


Figura 5.73 - O₃, AOT40 Superamenti suddivisi per Zona UE - anno 2017

Le figure successive mostrano l'andamento dei valori massimi giornalieri della concentrazione di ozono (O₃) nella stazione della rete regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo registrati dal 2000 al 2018.

Si nota come l'andamento stagionale sia molto netto: nei periodi caldi (primavera ed estate) la media stagionale risulta molto alta.

La tendenza generale è di un abbassamento dei valori con l'aumentare degli anni, tuttavia si osserva una sostanziale stazionarietà negli ultimi anni.

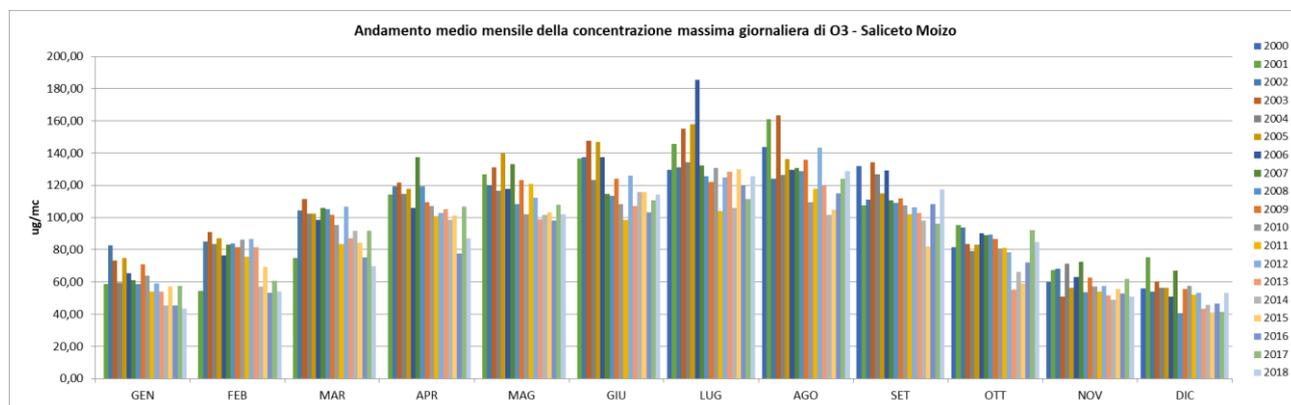


Figura 5.74 - Media mensile dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per l'Ozono registrata dal 2000 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

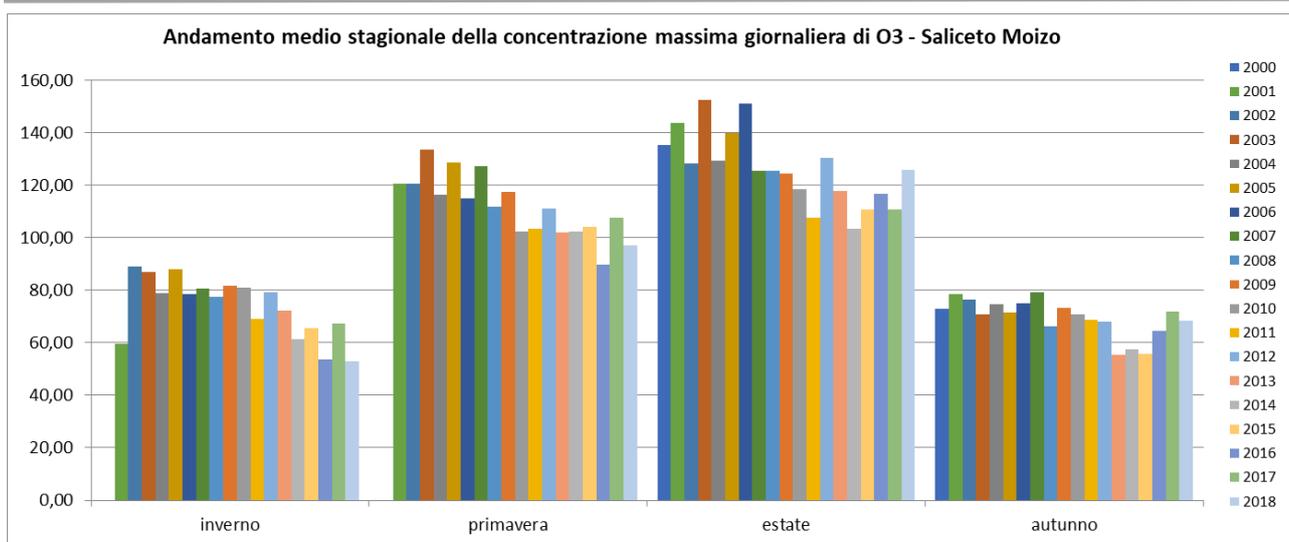


Figura 5.75 - Media stagionale dell'andamento del valore massimo di concentrazione oraria per l'Ozono registrata dal 2000 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

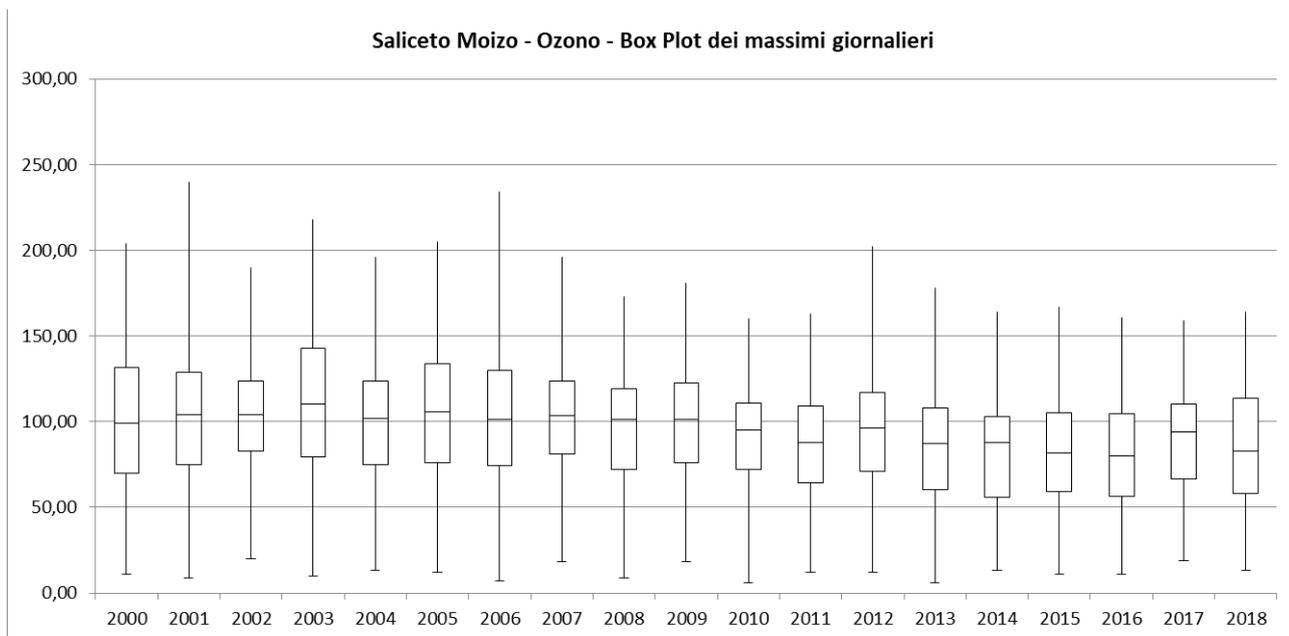


Figura 5.76 - Box plot della concentrazione massima giornaliera di Ozono registrata dal 2000 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

Benzo(a)pirene

Nella figura successiva si possono vedere le medie annuali dei valori di benzo(a)pirene nel PM10 registrate nelle stazioni del Piemonte nel 2017. Come si può vedere nella stazione di Saliceto la media annuale risulta leggermente superiore al valore obiettivo previsto da normativa (1 ng/m³), mentre tale limite viene rispettato nella stazione di Mondovì.

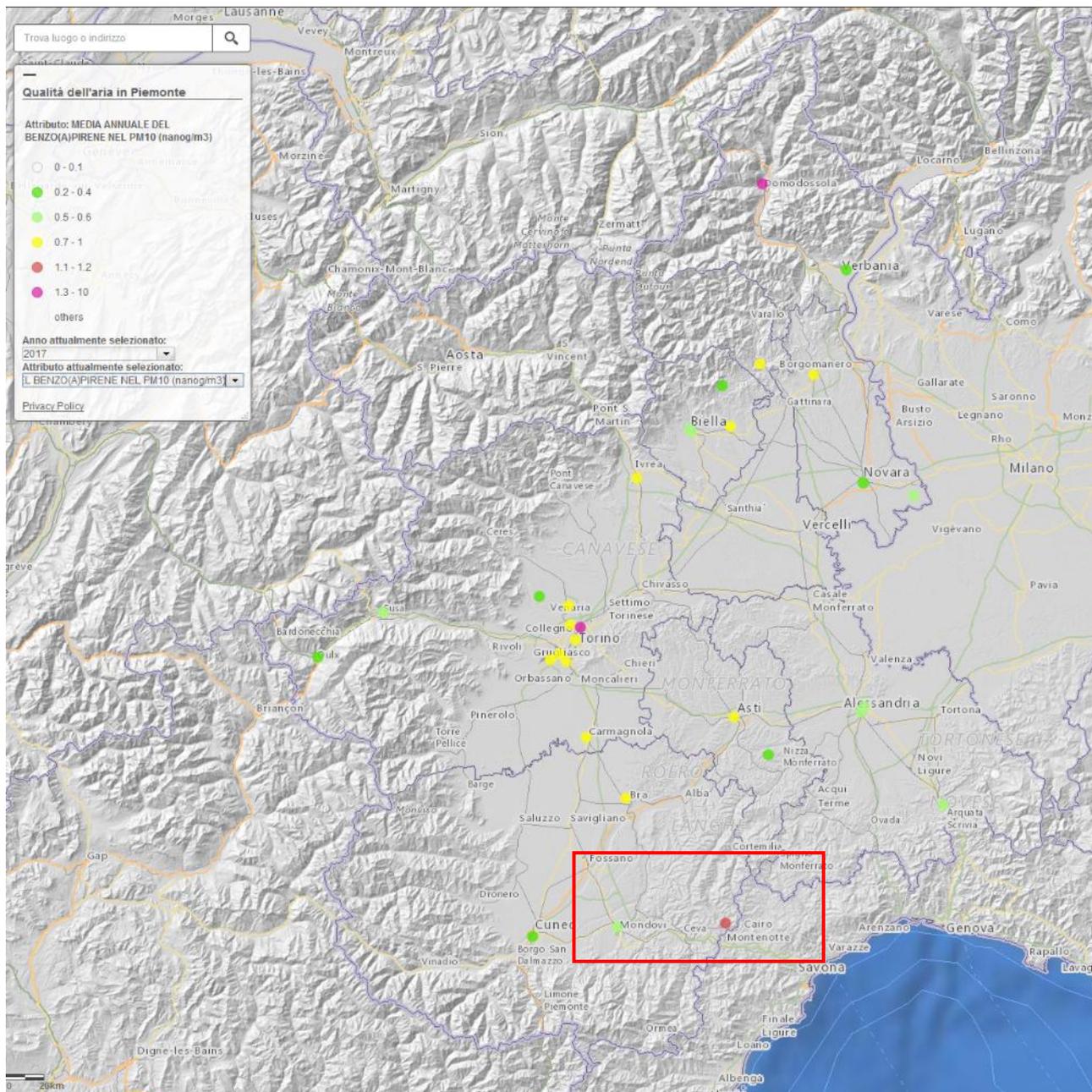


Figura 5.77 - Mappa delle medie annuali del benzo(a)pirene nel PM10 misurate nelle stazioni della rete regionale del Piemonte nel 2017

Nel 2017 le stazioni della rete regionale nelle quali i valori misurati sono stati uguali a quelli dell'anno precedente sono state circa il 60% del totale e il valore obiettivo è stato superato in tre stazioni: Saliceto-Moizo, Torino-Rebaudengo e Domodossola-Curotti.

Da notare comunque che circa il 37% delle stazioni che non superano il valore obiettivo (1 ng/m³) hanno comunque una concentrazione dell'inquinante superiore alla soglia superiore di valutazione (0,6 ng/m³).

Il benzo(a)pirene mostra i valori più elevati nelle stazioni caratterizzate da intenso traffico e/o dalla collocazione in aree nelle quali è verosimilmente più consistente il ricorso alla legna per riscaldare gli ambienti. Le principali fonti degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono infatti il traffico veicolare diesel e la combustione incompleta di materiali organici contenenti carbonio (legno, carbone).

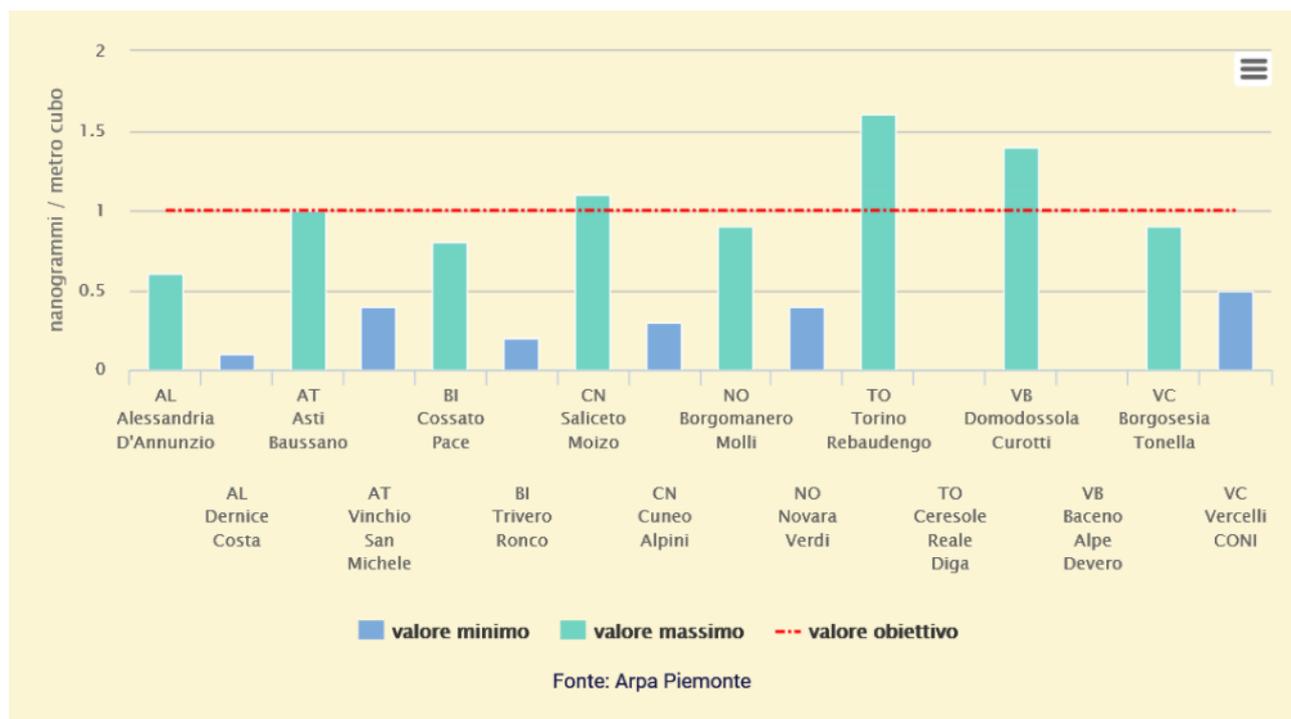


Figura 5.78 - Benzo(a)pirene media annua - anno 2017

Le figure successive mostrano i dati registrati di benzo(a)pirene nel PM₁₀ nelle stazioni della rete regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno nel periodo che va dal 2014 al 2018 e stazione Saliceto Moizo dal 2005 al 2018.

Si nota come l'andamento stagionale sia molto netto: i periodi freddi (inverno ed autunno) non contribuiscono alla dispersione naturale degli inquinanti e quindi la media stagionale risulta molto alta.

La tendenza generale è di un abbassamento dei valori con l'aumentare degli anni.

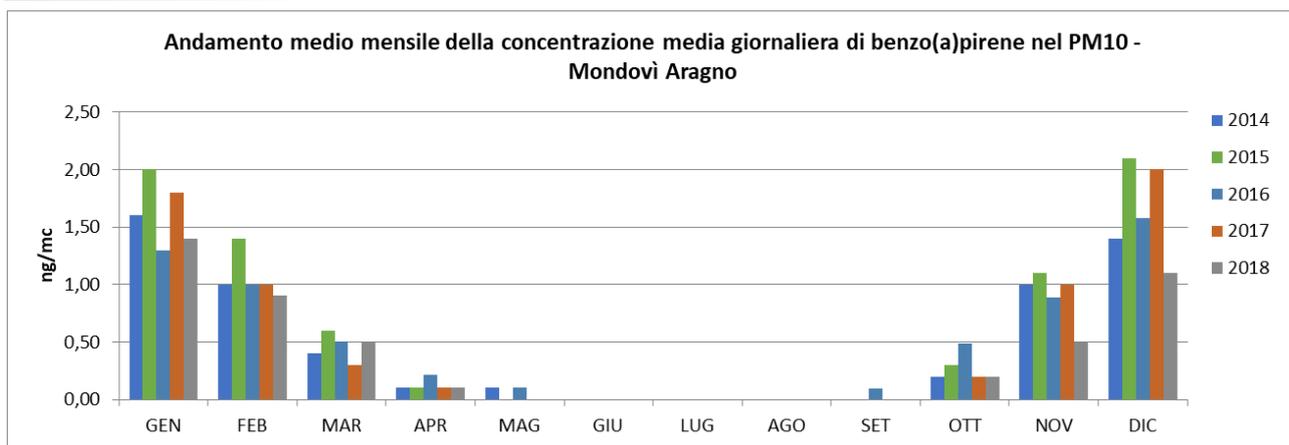


Figura 5.79 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di benzo(a)pirene nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

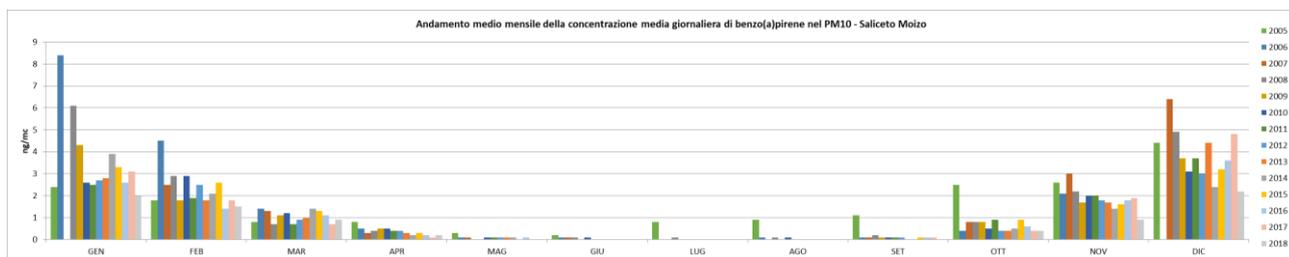


Figura 5.80 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di benzo(a)pirene nel PM10 registrata dal 2005 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

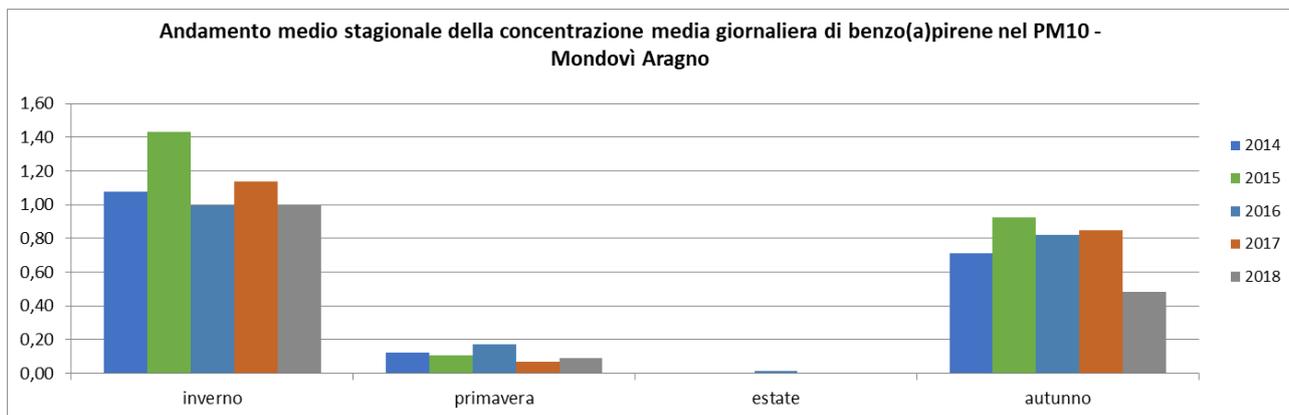


Figura 5.81 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di benzo(a)pirene nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

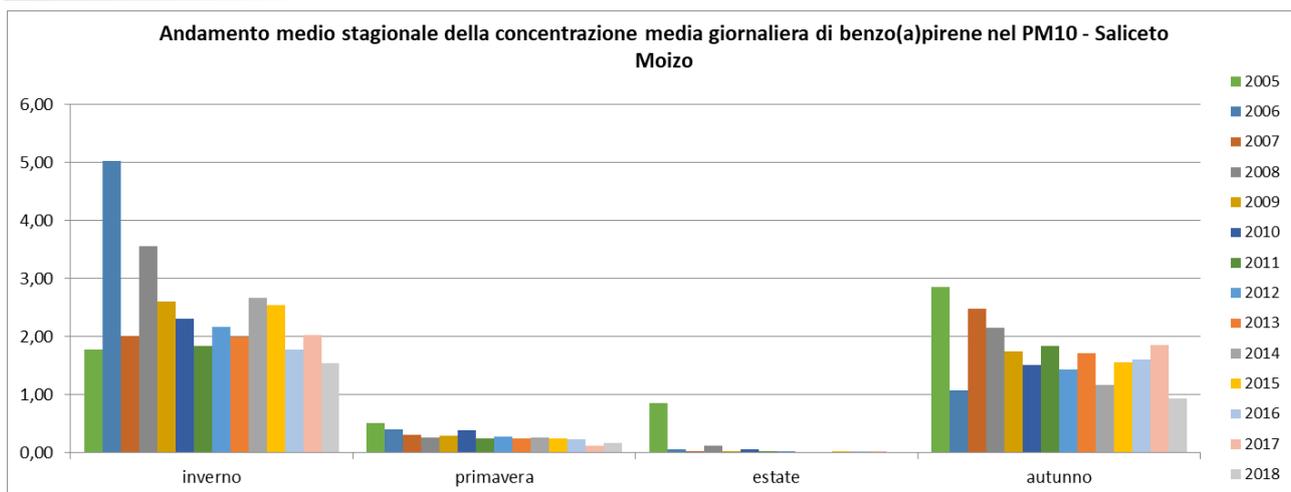


Figura 5.82 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di benzo(a)pirene nel PM10 registrata dal 2005 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

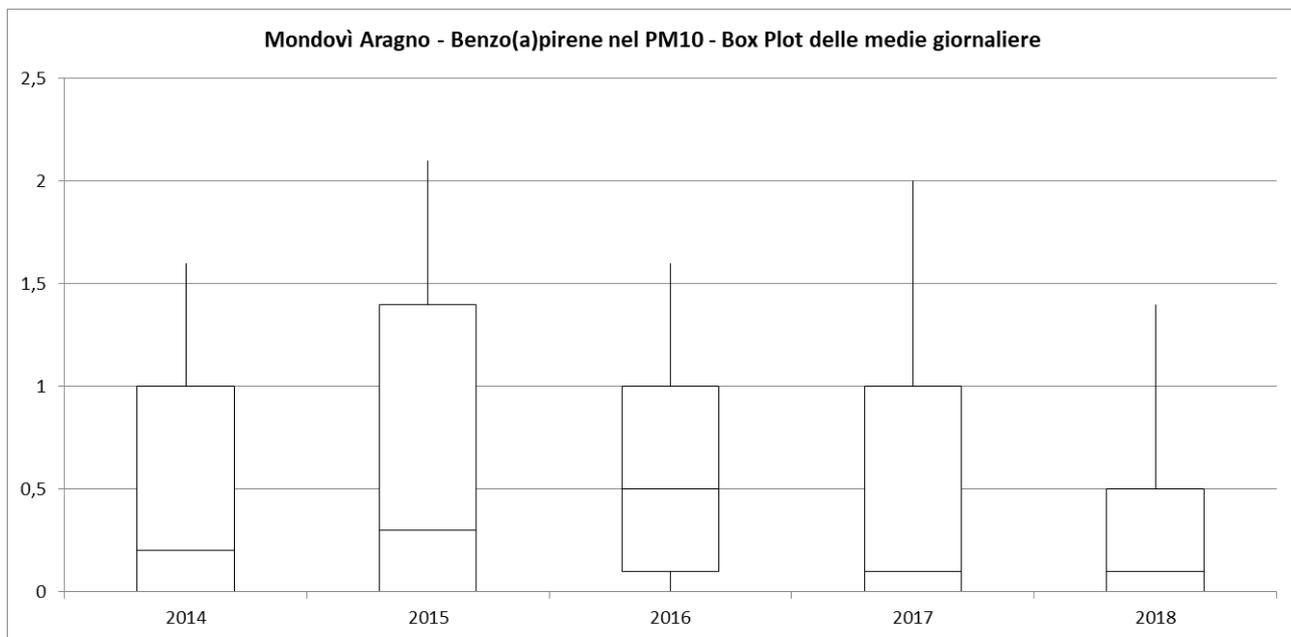


Figura 5.83 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di benzo(a)pirene nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

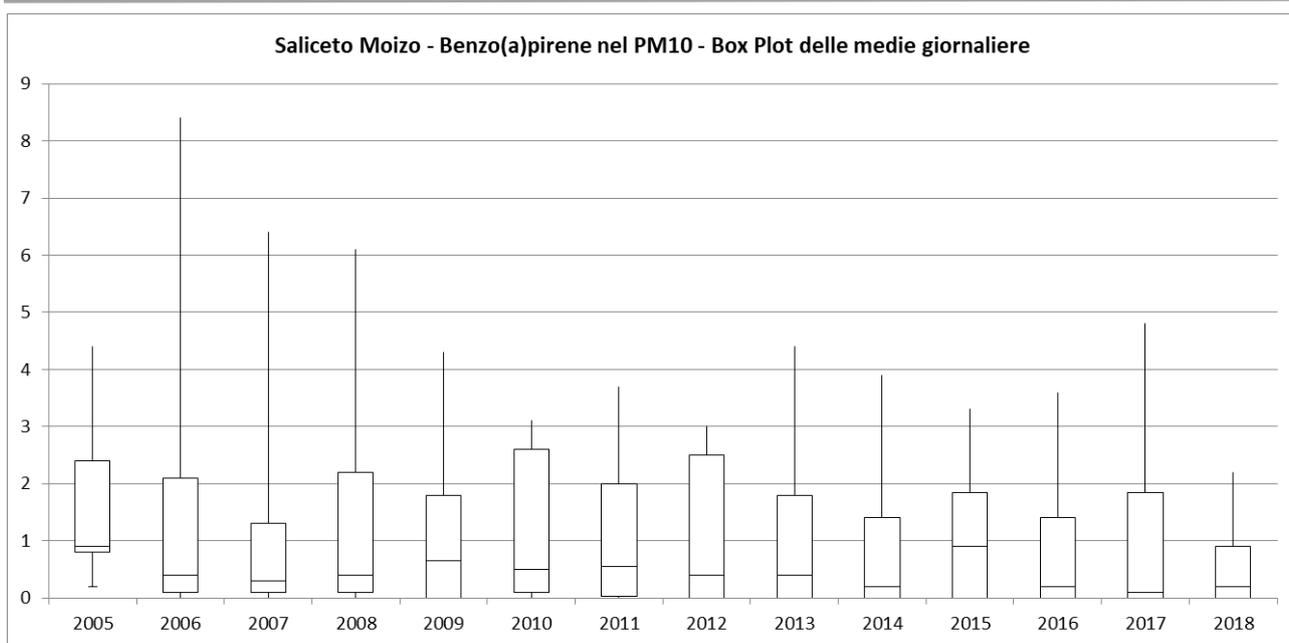


Figura 5.84 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di benzo(a)pirene nel PM10 registrata dal 2005 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

Benzene

Nel 2017 questo inquinante in tutti i punti di misura della rete regionale non ha superato il valore limite pari a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

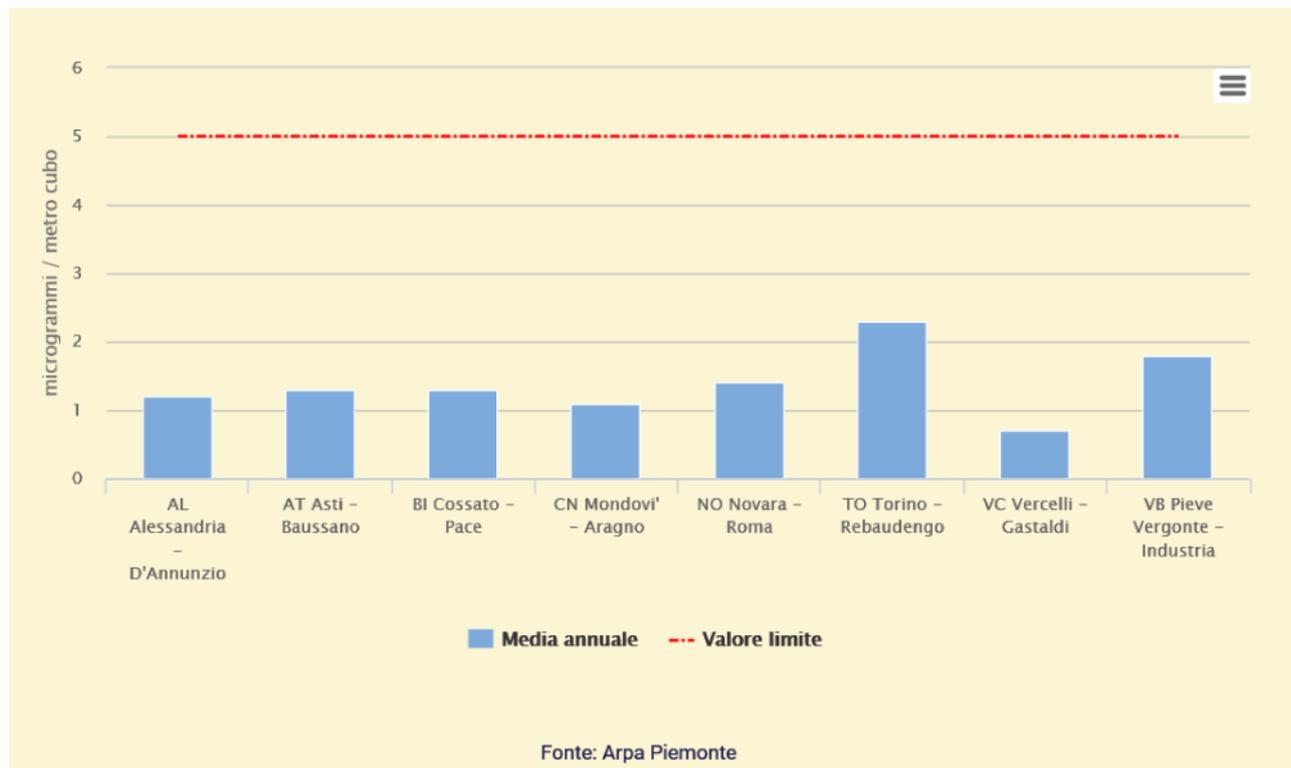


Figura 5.85 - Benzene, media annuale - anno 2017

Le figure successive mostrano i dati registrati di benzene nel PM10 nelle stazioni della rete regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai nel periodo che va dal 2011 al 2013 e stazione Mondovì Aragno dal 2014 al 2018.

Si nota come l'andamento stagionale sia molto netto: i periodi freddi (inverno ed autunno) non contribuiscono alla dispersione naturale degli inquinanti e quindi la media stagionale risulta molto alta.

La tendenza generale è di un abbassamento dei valori con l'aumentare degli anni.

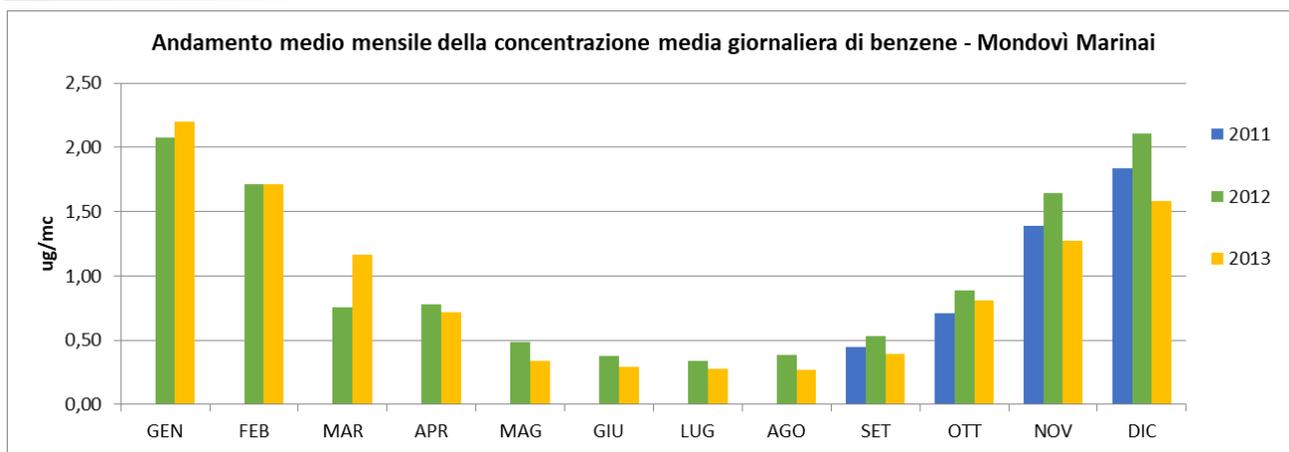


Figura 5.86 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di benzene registrata dal 2011 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

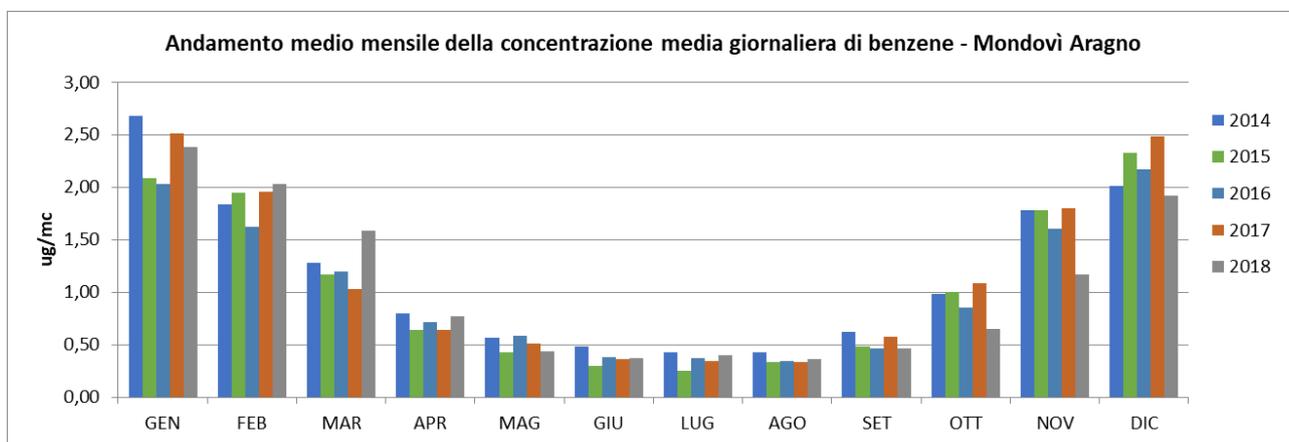


Figura 5.87 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di benzene registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

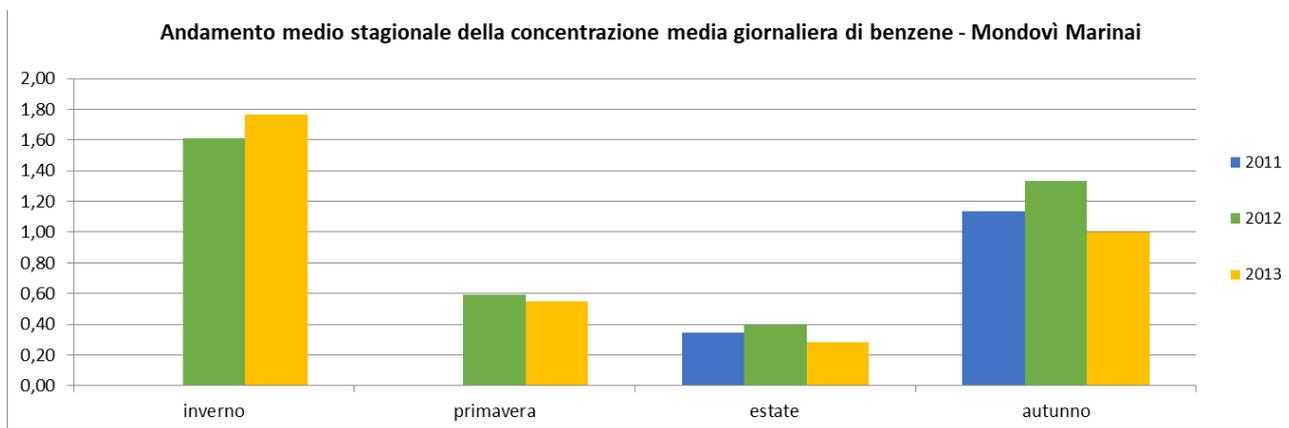


Figura 5.88 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di benzene registrata dal 2011 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

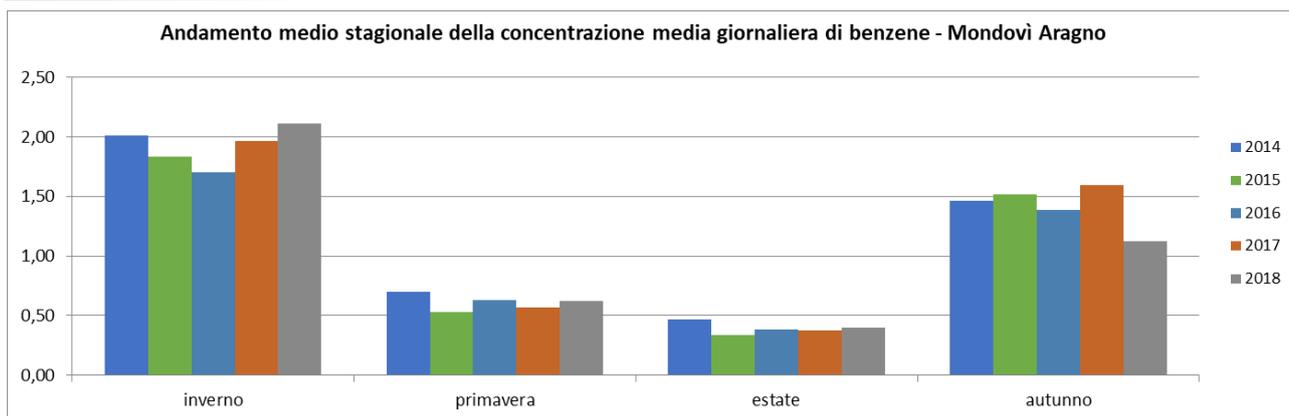


Figura 5.89 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di benzene registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

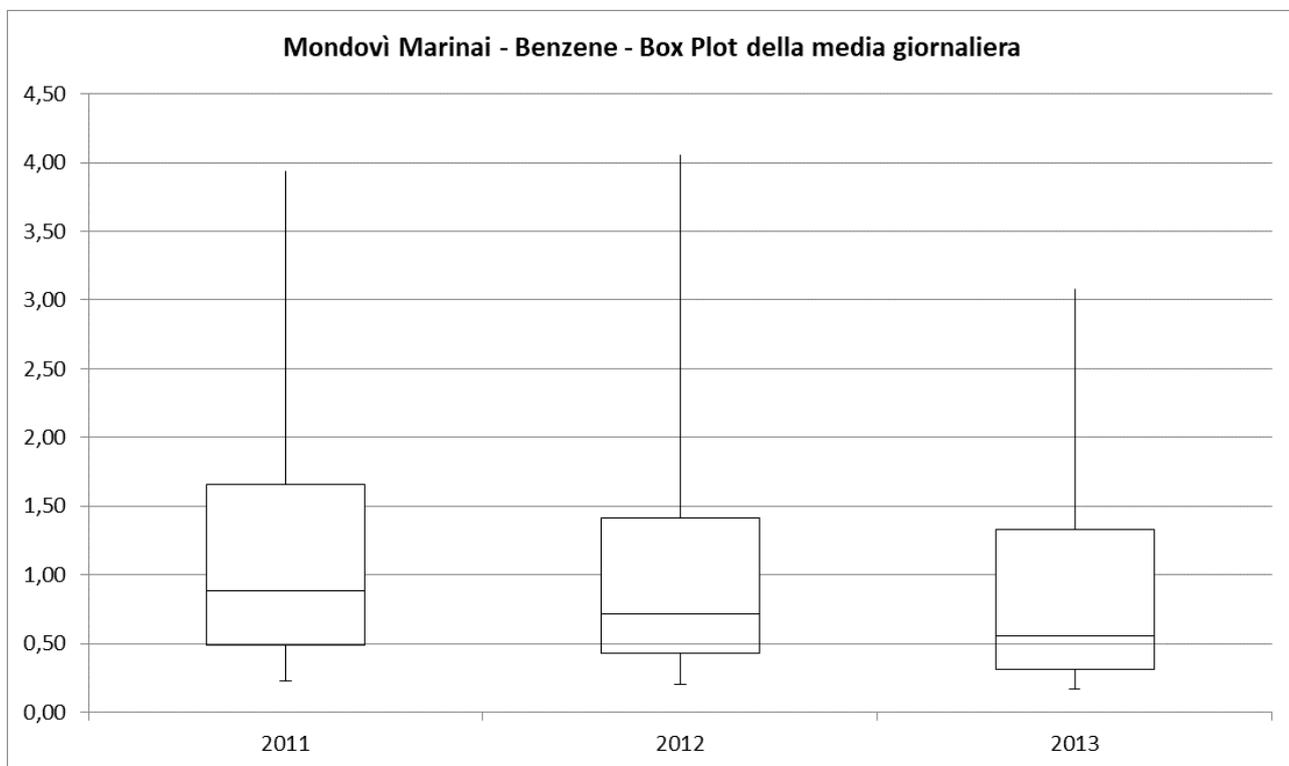


Figura 5.90 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di benzene registrata dal 2011 al 2013 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Marinai

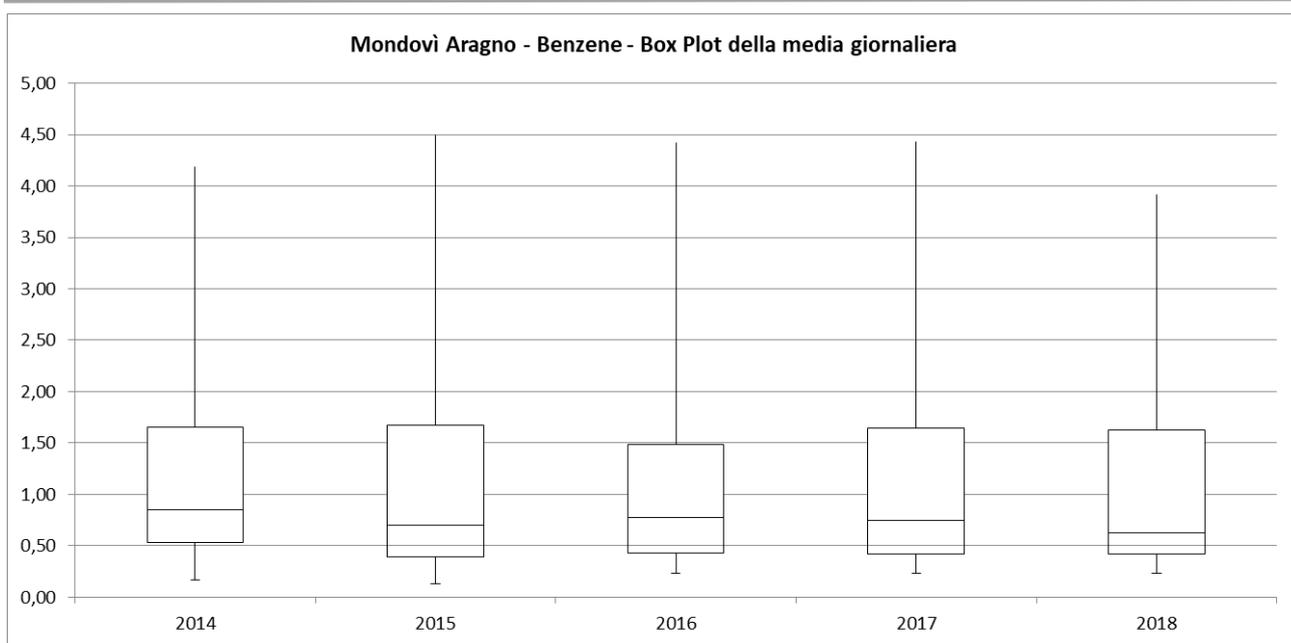


Figura 5.91 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di benzene registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

Metalli

Nel 2017 Arpa Piemonte ha misurato le concentrazioni dei **metalli tossici** in gran parte dei siti della rete regionale nei quali è installato un campionario di PM10. Il D.Lgs. 155/10 attribuisce al **piombo** un valore limite ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre per **l'arsenico, il cadmio e il nichel** un valore obiettivo (rispettivamente 6, 5 e $20 \text{ ng}/\text{m}^3$). I dati misurati nell'anno 2017 mostrano concentrazioni decisamente inferiori ai rispettivi valori di riferimento in analogia con gli anni precedenti.

Le figure successive mostrano i dati registrati delle concentrazioni di piombo nel PM10 (Valore Limite pari a $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nelle stazioni della rete regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno nel periodo che va dal 2014 al 2018 e stazione Saliceto Moizo dal 2004 al 2018.

Si nota come l'andamento stagionale sia molto netto: i periodi freddi (inverno ed autunno) non contribuiscono alla dispersione naturale degli inquinanti e quindi la media stagionale risulta più alta.

La tendenza generale è di un abbassamento dei valori con l'aumentare degli anni, anche se negli ultimi anni si registra una certa stazionarietà.

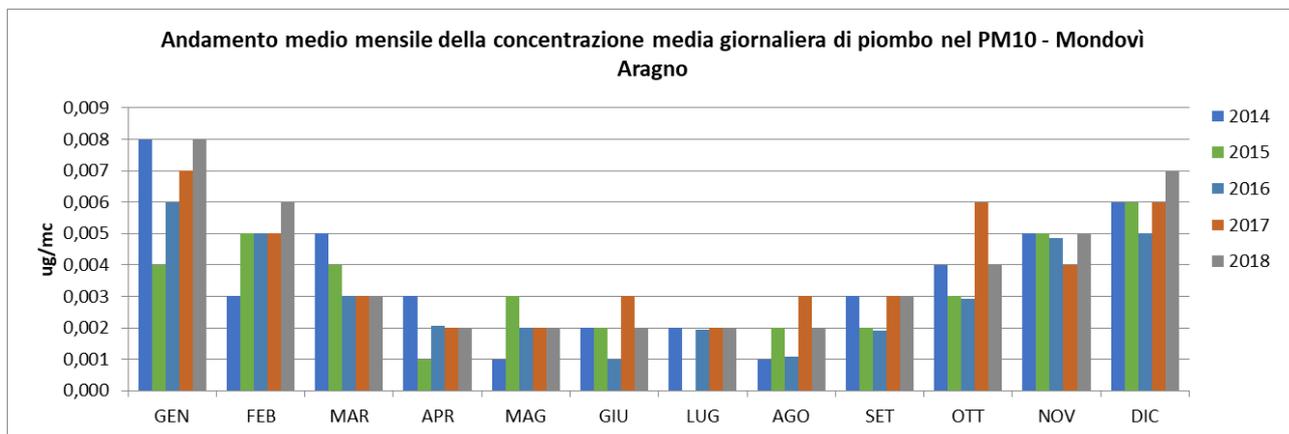


Figura 5.92 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di piombo nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

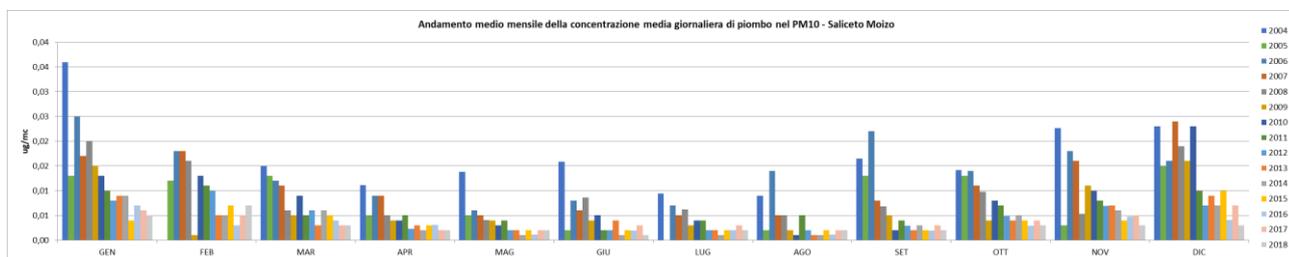


Figura 5.93 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di piombo nel PM10 registrata dal 2004 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

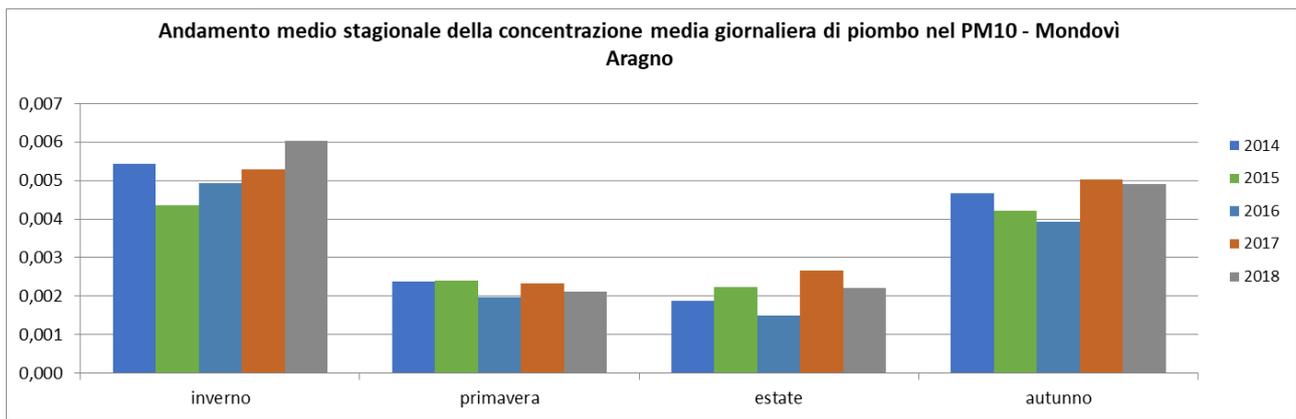


Figura 5.94 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di piombo nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

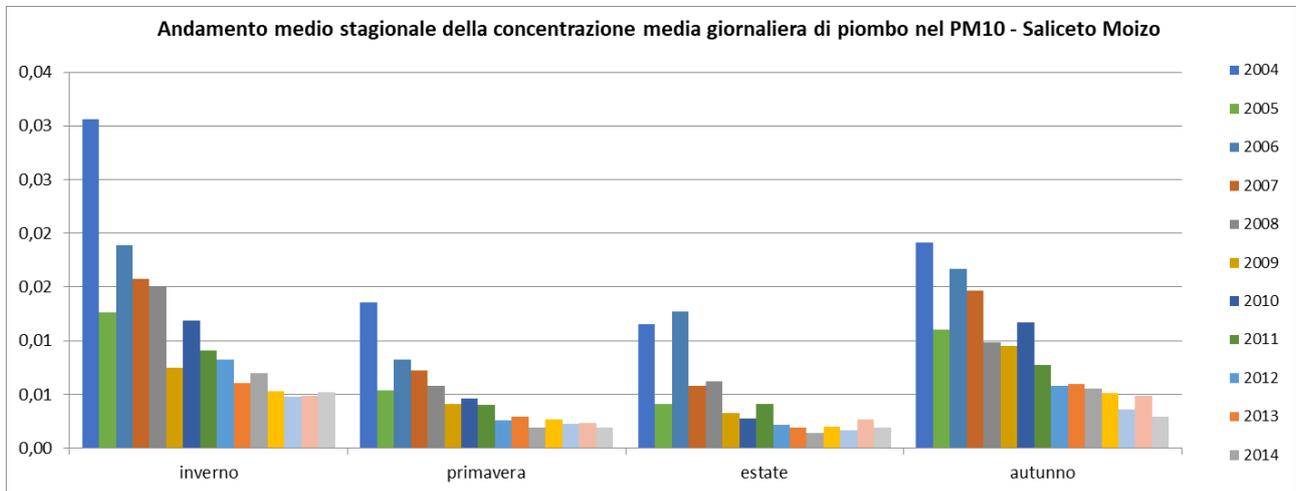


Figura 5.95 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di piombo nel PM10 registrata dal 2004 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

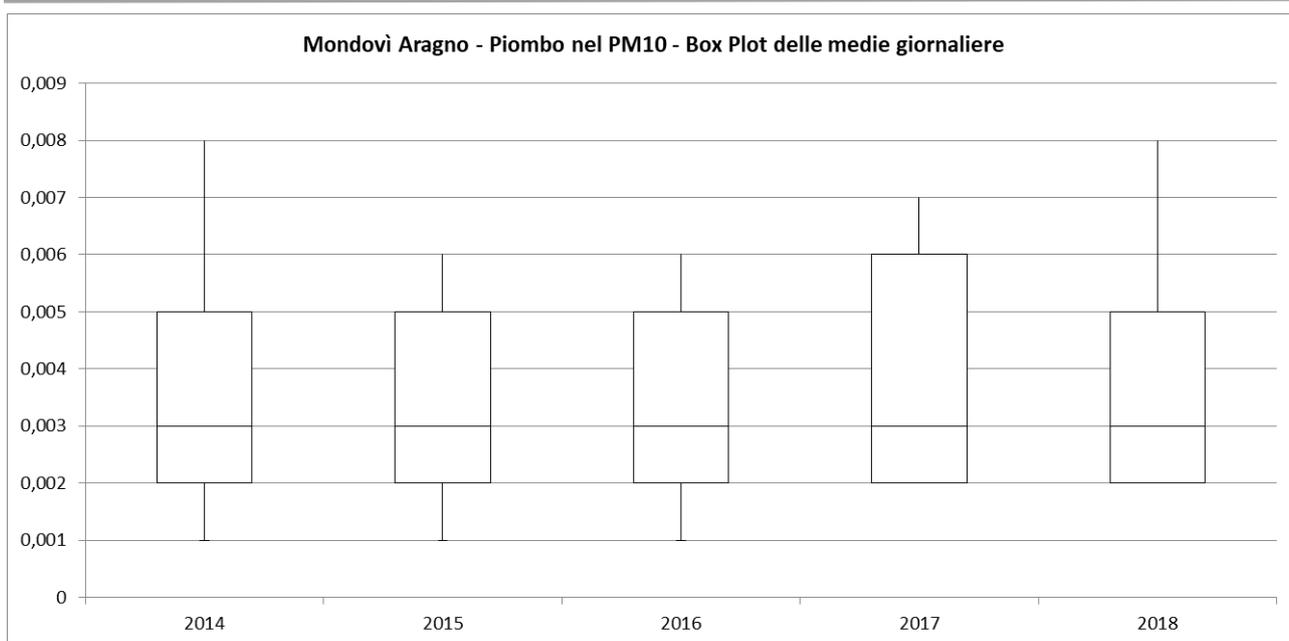


Figura 5.96 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di piombo nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

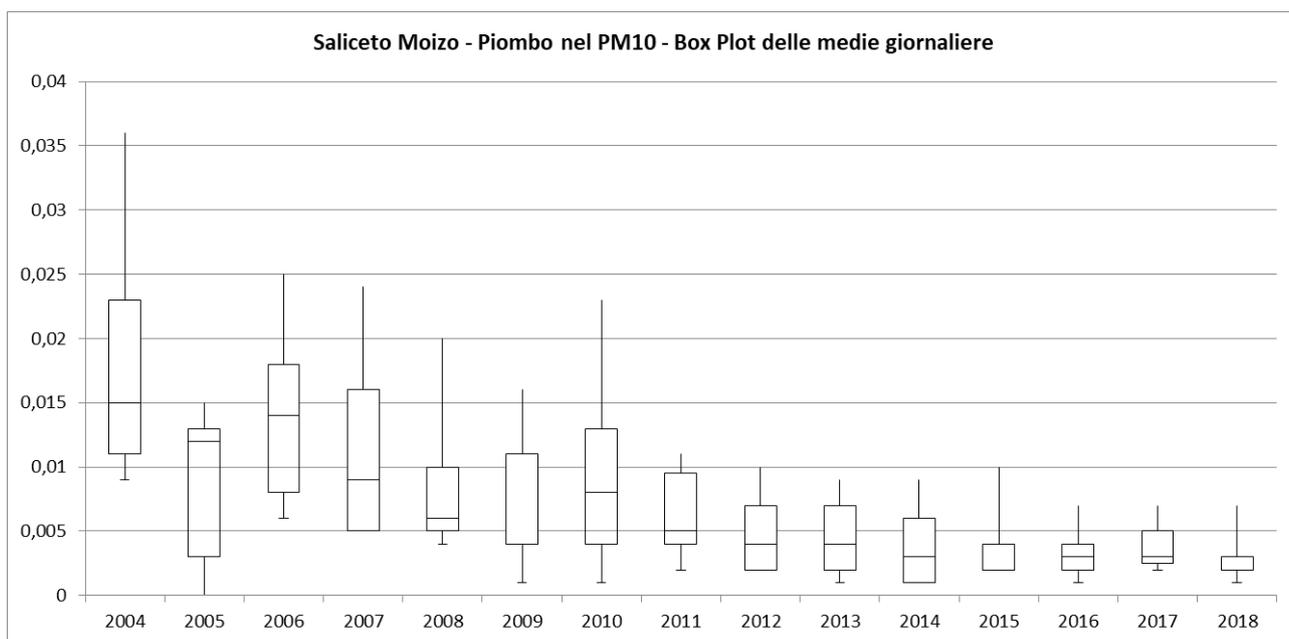


Figura 5.97 - Box plot della concentrazione medie giornaliere di piombo nel PM10 registrata dal 2004 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

Le figure successive mostrano i dati registrati delle concentrazioni degli altri metalli (arsenico, cadmio e nichel) nel PM10 nelle stazioni della rete regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno nel periodo che va dal 2014 al 2018 e stazione Saliceto Moizo dal 2004 al 2018.

La tendenza generale è di un netto abbassamento dei valori nei primi anni dello scorso decennio, per poi raggiungere valori di concentrazione stabili, eccezion fatta per i valori registrati di nichel nella stazione di Mondovì Aragno nei mesi di luglio ed agosto nel 2016 che risultano particolarmente elevati.

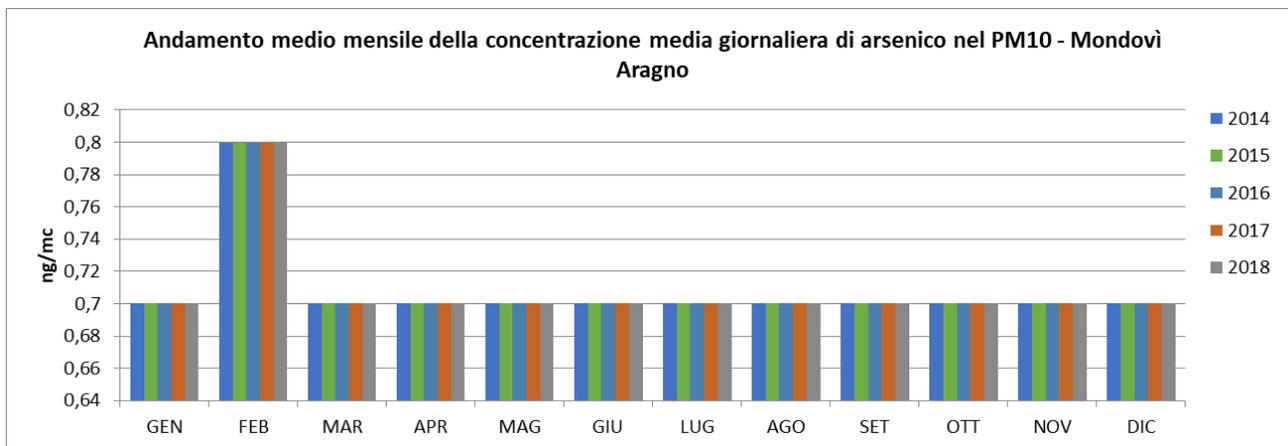


Figura 5.98 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di arsenico nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

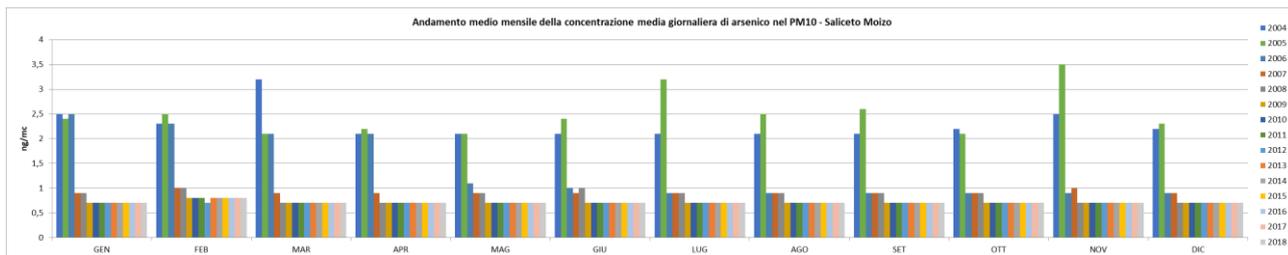


Figura 5.99 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di arsenico nel PM10 registrata dal 2004 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

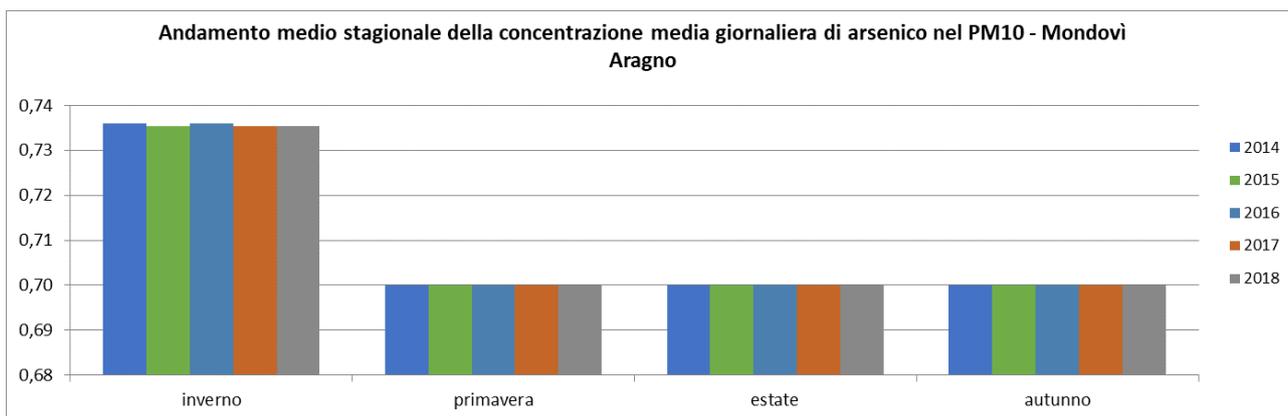


Figura 5.100 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di arsenico nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

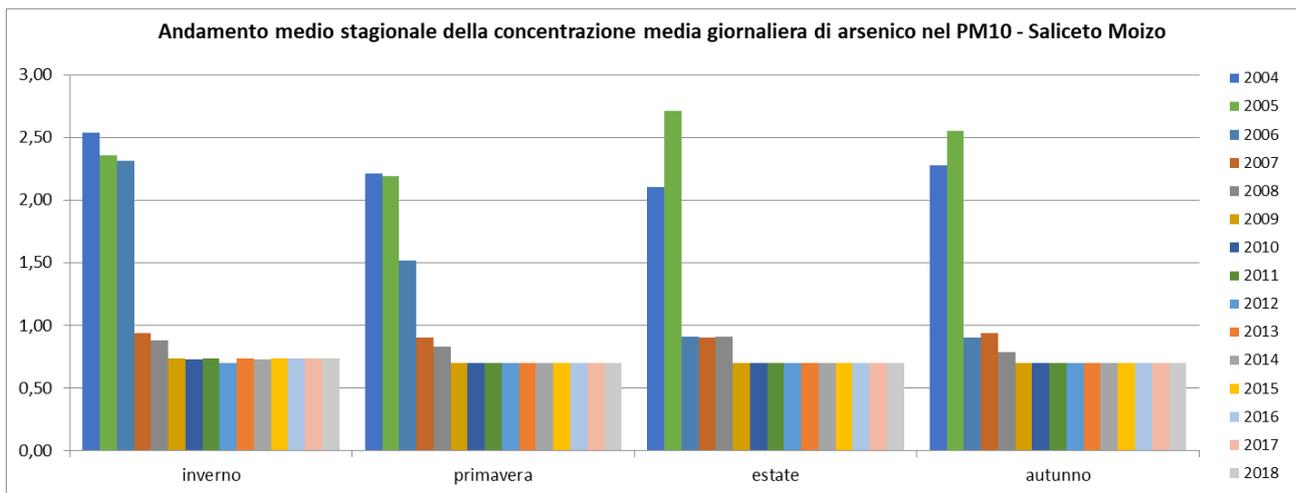


Figura 5.101 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di arsenico nel PM10 registrata dal 2004 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

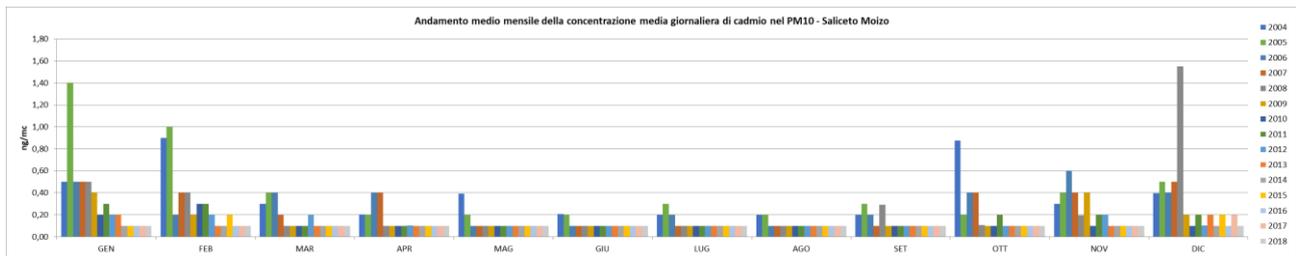


Figura 5.102 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di cadmio nel PM10 registrata dal 2004 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

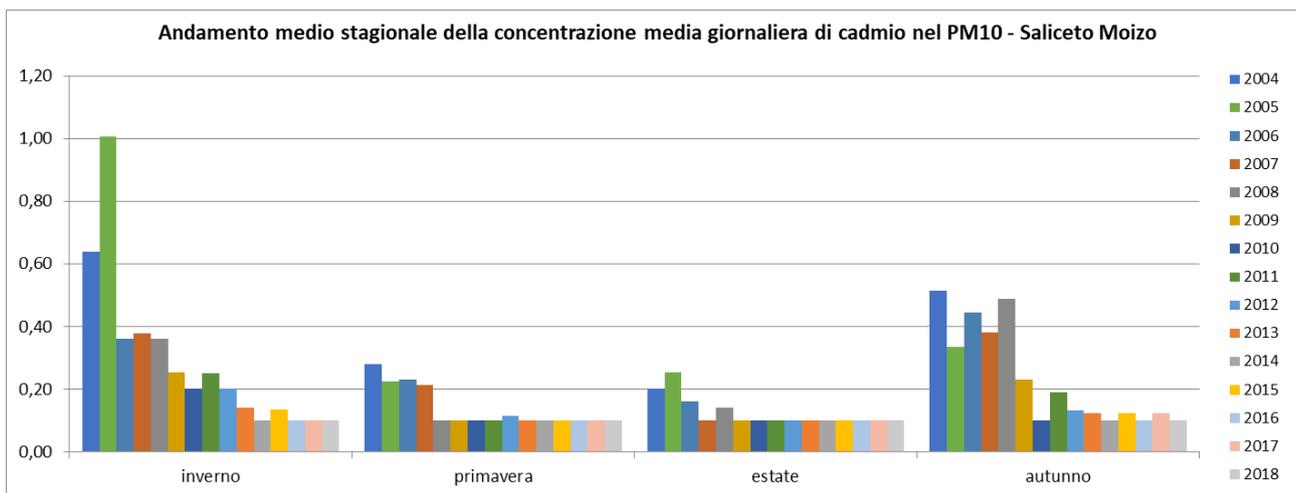


Figura 5.103 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di cadmio nel PM10 registrata dal 2004 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

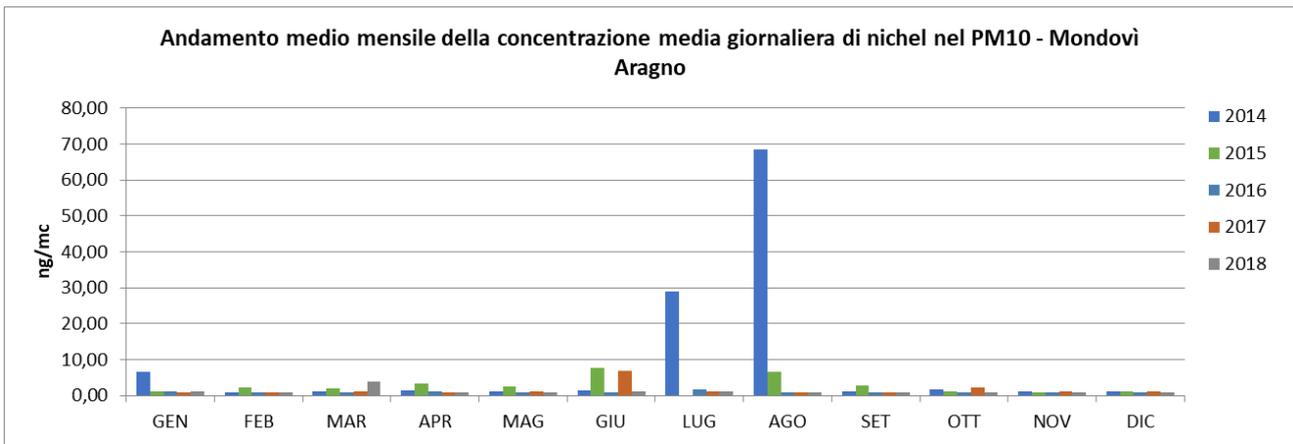


Figura 5.104 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di nichel nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

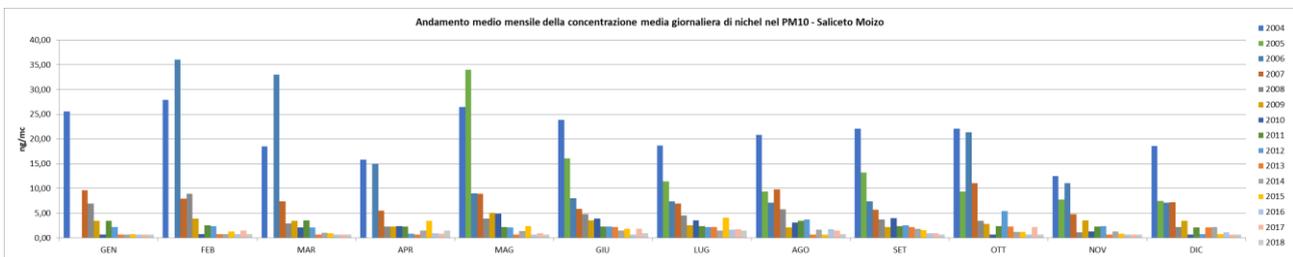


Figura 5.105 - Media mensile dell'andamento della concentrazione giornaliera di nichel nel PM10 registrata dal 2004 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

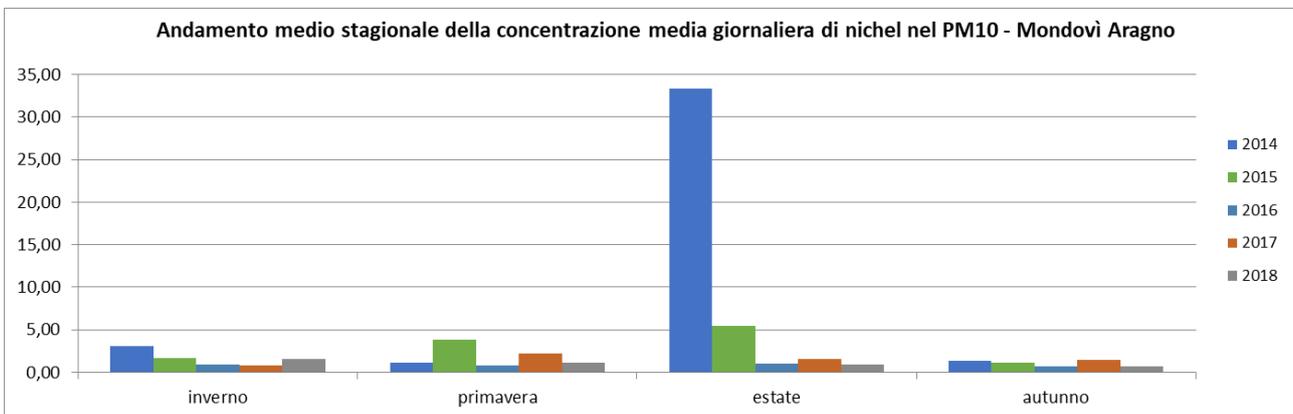


Figura 5.106 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di nichel nel PM10 registrata dal 2014 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Mondovì Aragno

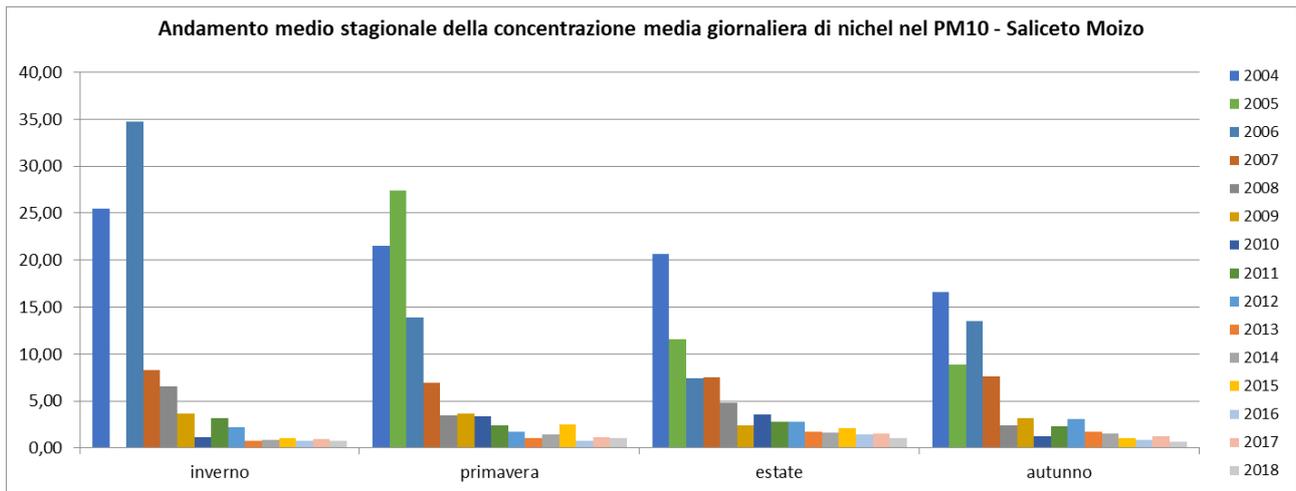


Figura 5.107 - Media stagionale dell'andamento della concentrazione giornaliera di nichel nel PM10 registrata dal 2004 al 2018 nella centralina della Rete Regionale della Qualità dell'Aria di Saliceto Moizo

Considerazioni finali sulla qualità dell'aria

Per quanto riguarda la qualità dell'aria ci si è soffermati ad analizzare alcuni componenti presenti in atmosfera, responsabili dell'inquinamento della qualità dell'aria a seguito di attività antropiche:

- Polveri
- Ossidi di azoto
- Biossido di zolfo
- Monossido di carbonio
- Ozono
- Benzo(a)pirene
- Benzene
- Metalli (piombo, arsenico, cadmio, nichel)

Per effettuare analisi approfondite si sono esaminati i dati relativi alle stazioni ARPA Piemonte di:

- Mondovì Aragno (attiva dal 13/12/2013)
- Mondovì Marinai (attiva dal 20/11/2001 al 04/12/2013)
- Saliceto Moizo (attiva dal 01/12/1999)

Inoltre Arpa Piemonte si è dotata nel corso degli anni di una serie di modelli e di moduli di supporto che, coprendo i principali ambiti di utilizzo della modellistica, le permettono di effettuare la Valutazione Annuale della Qualità dell'aria a supporto dei processi di valutazione e gestione della qualità dell'aria mediante l'applicazione di un sistema modellistico euleriano di chimica e trasporto in modalità diagnostica.

Lo stato attuale della qualità dell'aria mostra delle criticità per quanto riguarda le concentrazioni di polveri, ossidi di azoto e di ozono (comunque in miglioramento, negli anni più recenti).

Per quanto riguarda le polveri, il valore limite di protezione della salute umana di 40 µg/m³ su base annua nel 2017 **è stato superato** in cinque stazioni di traffico della rete regionale, mentre il valore limite giornaliero di protezione

della salute umana, pari a 50 µg/m³, è stato superato per più di 35 giorni nel 2017 in circa il 70% delle stazioni della rete regionale. La tendenza generale è di un abbassamento dei valori con l'aumentare degli anni, anche se si osserva una sostanziale stazionarietà nell'ultimo quinquennio.

Gli altri elementi presi in esame, ossidi di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio, benzo(a)pirene, benzene, metalli tossici (piombo, arsenico, cadmio, nichel), mostrano valori di concentrazione inferiori ai livelli limite stabiliti dalle normative vigenti in tutte le stazioni della rete regionale. Nel caso del biossido di zolfo e dei metalli tossici i valori registrati risultano infatti ampiamente inferiori al limite previsto da normativa. Inoltre la tendenza generale è di un abbassamento dei valori con l'aumentare degli anni.

6 Sorgenti e recettori

Per poter stimare l'impatto potenzialmente prodotto dalle modifiche progettuali è stato necessario codificare ed analizzare le sorgenti di emissione ed i recettori potenziali di tale inquinamento. La fase successiva (descritta nel dettaglio nei paragrafi successivi) è stata quella di implementare un modello matematico in grado di simulare i fenomeni complessi di trasporto (orizzontale e verticale) e di diffusione in atmosfera degli inquinanti, tenendo conto delle assegnate condizioni meteorologiche; il risultato finale è la stima e la quantificazione precisa delle concentrazioni al suolo di ognuno degli inquinanti considerati.

I contributi sulla matrice atmosfera sono distinti in due fasi:

- Fase di cantiere: emissione di particolato proveniente dalle attività di cantiere propriamente dette (carico/scarico di materiali inerti, scavi, movimento terra, ecc...); tale sorgente, per le caratteristiche che le sono proprie, è di tipo "passivo" e diffuso;
- Fase di esercizio: emissione di sostanze gassose e particolate provenienti dalla combustione dei motori delle automobili circolanti; tale sorgente, per le caratteristiche che le sono proprie, è di tipo "passivo" e diffuso;

Per valutare gli effetti sui recettori dei principali inquinanti, sono stati considerati quindi 4 scenari:

- Stato di fatto (ante operam), prendendo come riferimento i risultati dello Studio del Traffico al 2019
- Stato di progetto (post operam), che utilizza i risultati dello Studio del Traffico nello scenario all'entrata in esercizio all'anno 2025
- Opzione zero, che utilizza i risultati dello Studio del Traffico nello scenario stato di fatto al 2025
- Fase di cantiere (Corso Operam) valutato sulla base dell'estensione e delle caratteristiche effettive dei cantieri.

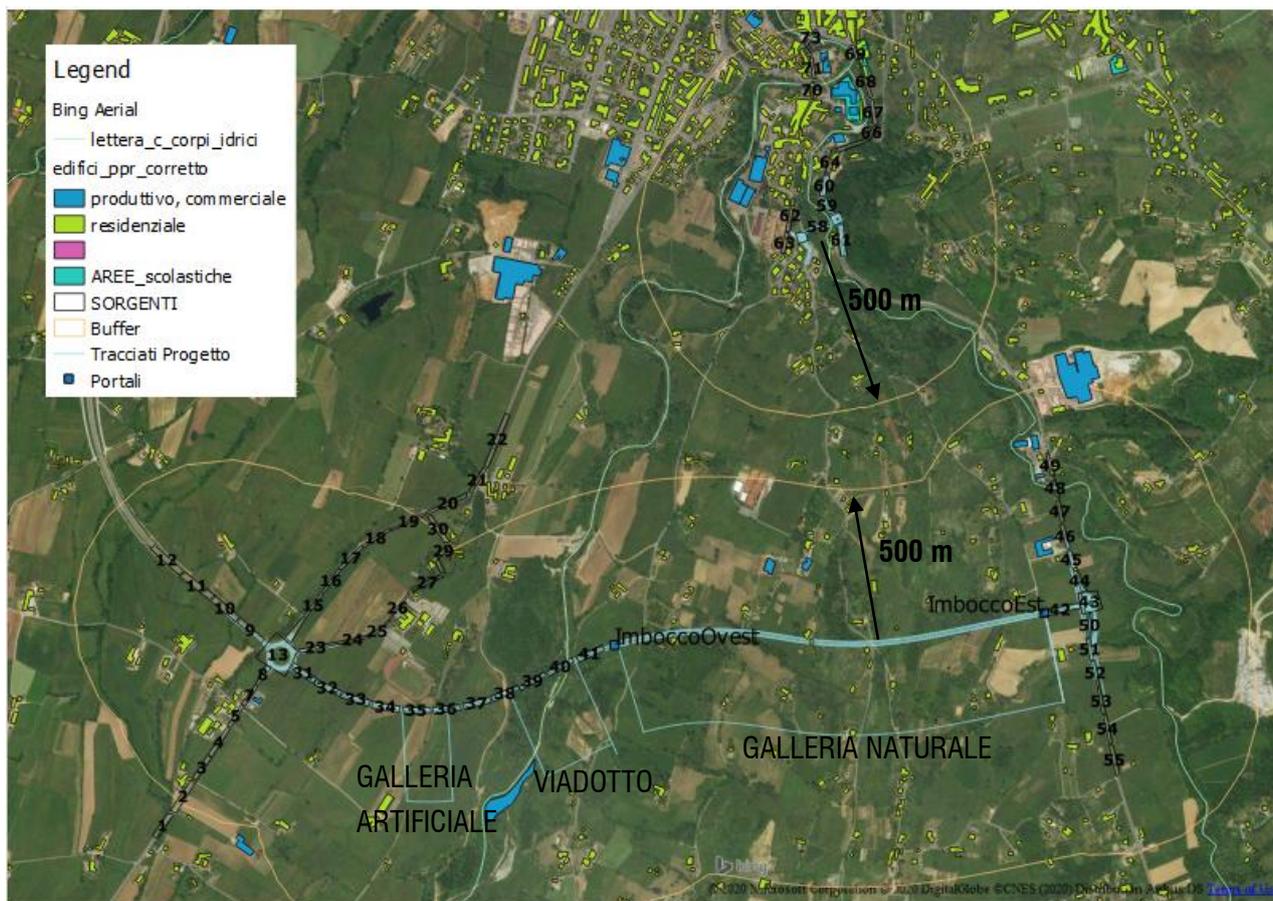


Figura 6.1 – Rappresentazione delle sorgenti considerate nella modellazione numerica

Sono stati considerati come sorgenti i tratti stradali interessati dalle nuove opere, con un raggio di influenza di 500 m e che interessano maggiormente i recettori individuati. I tracciati stradali sono stati simulati come sorgenti areali (rappresentati in Figura con la numerazione da 1 a 73). Sono stati considerati inoltre come emissioni puntuali gli imbocchi della galleria naturale, per tenere conto dell'impianto di ventilazione presente.

Nei pressi delle opere in progetto l'unico recettore sensibile individuato è una scuola (REC13) posta 450 m a nord dell'asse secondario. Per l'analisi si sono considerati comunque i recettori più interessati dall'opera in una fascia di 500 m. I recettori REC14 e REC15 sono recettori eco sistemici per tenere conto dell'ecosistema lungo i letti dei torrenti rispettivamente Ermena ed Ellero. I recettori rimanenti sono abitazioni civili, tranne che per il recettore REC1, in cui si colloca un centro di formazione e sportivo.

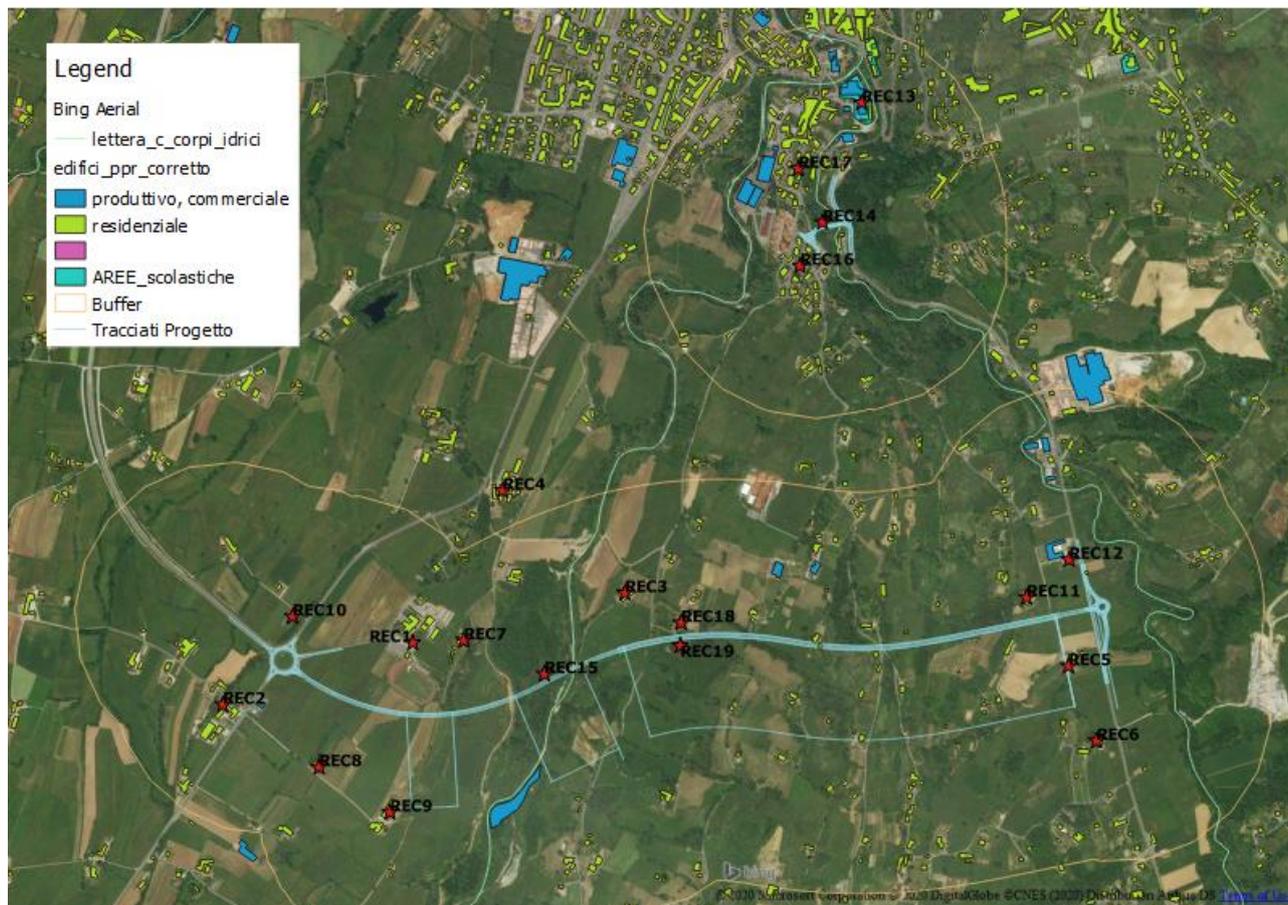


Figura 6.2 – Mappa dei recettori considerati

7 Emissioni

Fase di cantiere

Le aree di cantiere previste sono:

- Cantiere base, lungo l'asse della tangenziale di Mondovì (asse principale) in corrispondenza della rotatoria esistente lungo la S.P. 5 "Villanova" e prevede: area deposito materiale vegetale (6350 mq), area di deposito dei materiali, area uffici, etc. La viabilità di cantiere consiste in una pista (A) che dalla rotatoria esistente si sviluppa in direzione Est parallelamente all'asse principale. Inoltre una seconda pista A1, che si sviluppa a sud del cantiere, consentirà la costruzione del corpo stradale compreso tra la galleria artificiale e il viadotto e parte del viadotto.
- Cantiere Operativo 1 – Asse principale, in prossimità dell'imbocco ovest della galleria naturale. Il cantiere verrà impiegato per la realizzazione della galleria naturale lato ovest e del viadotto sul Fiume Ellero e l'accesso avverrà da nord. Nel cantiere oltre ad aree di deposito di materiali da costruzione e di smarino sono presenti un impianto di frantumazione e classificazione, un impianto di betonaggio e un impianto di produzione di conglomerato bituminoso. La superficie prevista per il deposito dei materiali è pari a 4800 mq mentre quella per lo stoccaggio del terreno vegetale derivante dallo scotico è pari a 3000 mq. La viabilità di cantiere (pista B) si distacca dalla viabilità esistente denominata Via Vecchia di Frabosa,

consentendo la costruzione di parte delle strutture del viadotto sul Fiume Ellero e le lavorazioni della galleria naturale condotte a partire dall'imbocco Ovest.

- Cantiere Operativo 2 – Asse principale, in prossimità dell'imbocco est della galleria naturale a ridosso della S.S. 28 Sud. Nel cantiere è sempre prevista un'area di accumulo dei materiali, un impianto di frantumazione e classificazione, un impianto di betonaggio e un impianto per la produzione di conglomerato bituminoso. In questo cantiere la superficie prevista per il deposito dei materiali di costruzione è pari a circa 3630 mq mentre quella per il deposito dello smarino è pari a circa 1050 mq. Sarà inoltre presente un'area a servizio dei lavori in galleria pari a circa 10500 mq e un'area per lo stoccaggio del terreno vegetale con superficie pari a circa 2400 mq.
- Cantiere Operativo 3 – in corrispondenza dell'area attualmente dedicata a parco pubblico, per la realizzazione del viadotto sul fiume Ermena e per la costruzione delle nuove rotatorie. Sono previste due aree per il deposito dei materiali di costruzione e un'area, di circa 200 mq per lo stoccaggio del terreno vegetale derivante dallo scotico. Per i cantieri 2 e 3 non è necessaria specifica viabilità di cantiere vista la prossimità con la viabilità esistente.

I mezzi d'opera che si prevede utilizzare sono:

- escavatori per lavori di scavo
- escavatori con braccio demolitore
- pale meccaniche
- apripista
- grader
- rulli compattatori vibranti monotamburo
- rulli compattatori vibranti a doppio tamburo
- vibrofinitrice
- autocarri
- autobetoniere
- pompe autocarrate
- terne gommate
- sollevatori telescopici
- autogrù
- trivelle per pali berlinesi.

Il cantiere è previsto si sviluppi in più fasi:

- FASE 1 di durata circa 3 mesi per l'allestimento del cantiere, realizzazione piste e risoluzione interferenze
- FASE 2 di circa 10-11 mesi in cui vengono realizzate le opere relative al collegamento con la S.P. 5 incluso il viadotto sull'Ellero e la galleria artificiale; in questa fase saranno attivi il cantiere base e cantiere operativo 1
- FASE 3 per la realizzazione della galleria naturale di circa 27 mesi (in questa fase saranno attivi cantiere operativo 1 e 2 e la pista B)
- FASE 4 e 5 per la realizzazione della corpo stradale fino all'imbocco est, pavimentazioni stradali, opere di finitura finali, opere di mitigazione e rimozione cantieri di circa 5 mesi
- FASEI 6,7,8 e 9 di circa 13 mesi per la realizzazione degli interventi di Rione Borgato.

Il periodo più gravoso da un punto di vista delle emissioni in atmosfera risulta quello in cui si sovrappongono le fasi 2 e 3, di durata complessiva di quasi un anno, che verrà quindi valutato in questo studio.

Per valutare l'impatto della polverosità di cantiere sono stati considerati i quattro cantieri previsti e le attività in essi presenti. Le fonti di emissione considerate sono:

- Traffico dei mezzi su piste non pavimentate
- Carico/scarico dei terreni
- Attività di movimentazione del terreno (scavo/rinterro)
- Impianto di frantumazione inerti

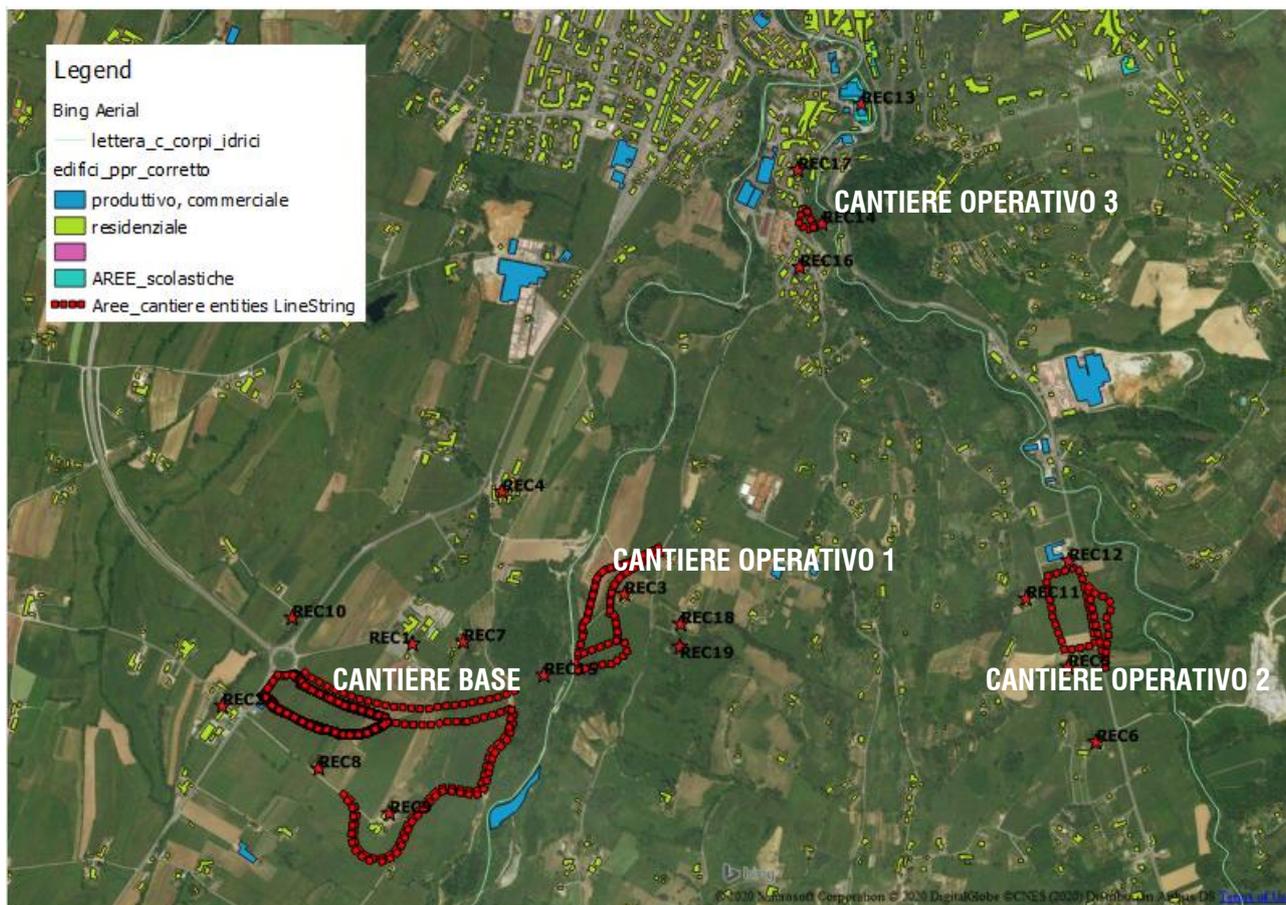


Figura 7.1 – Aree di cantiere

Traffico dei mezzi su piste non pavimentate

L'emissione di particolato per piste non pavimentate viene definita come (AP-42 capitolo 13.2.2 "Heavy construction operations (US EPA, 2011):

$$EM \left[\frac{lb}{VMT} \right] = k \left(\frac{s}{12} \right)^a \left(\frac{W}{3} \right)^b$$

in cui *VMT* rappresenta le miglia percorse, *k*, *a* e *b* sono parametri di letteratura, *W* è il peso medio del veicolo in tonnellate e *s* è il contenuto di limo del terreno. In questo caso è stato considerato *s* pari a 8,1% e il peso dei mezzi pari a 18 tonnellate. Inoltre si è già tenuto conto dell'effetto della bagnatura della strada che consente di mantenere l'umidità pari a circa 2%. L'efficienza del controllo nelle emissioni da traffico su piste non pavimentate dovuta all'umidità è riportata nella seguente figura.

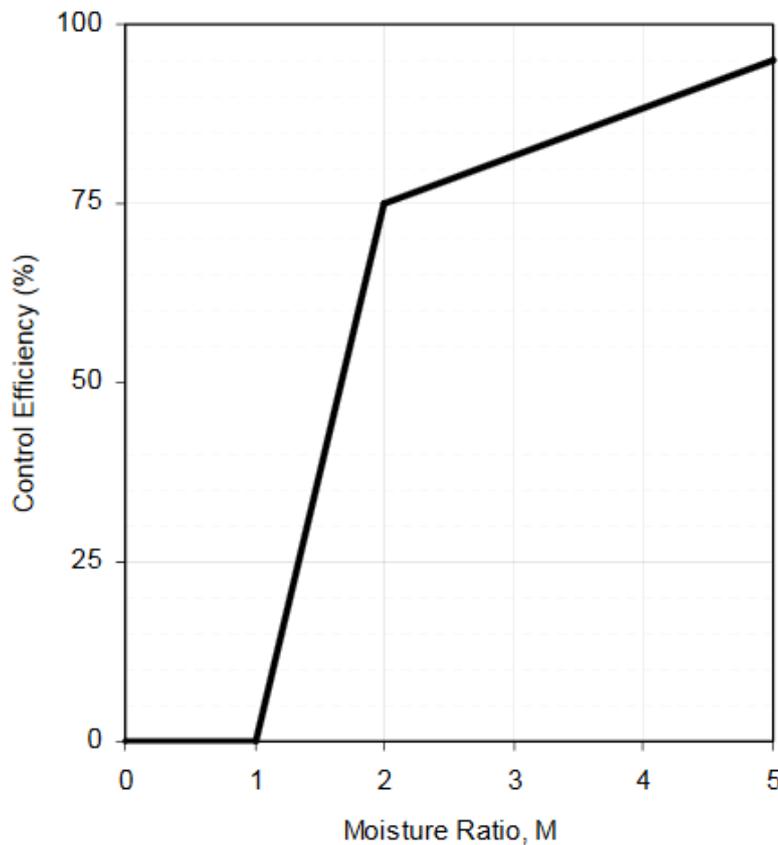


Figura 7.2 – Efficacia del contenuto d'acqua su strade non pavimentate (AP-42 Sezione 13.2.2)

I valori di emissione utilizzati sono di seguito riportati.

	PM 10	PM 2.5
EM [kg/km]	0.166	0.0166

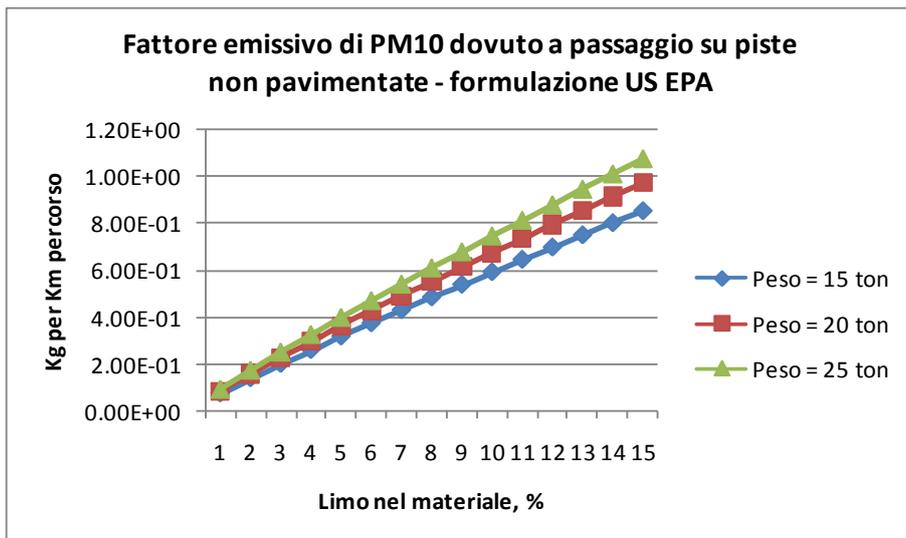


Figura 7.3 - Fattore di emissione di polveri sottili dovuto a passaggio di automezzi e mezzi d'opera su piste non pavimentate, al variare del limo presente nel materiale e del peso del mezzo.

Il numero dei mezzi transitanti è stato calcolato sulla base dei dati ottenuti dei volumi di scavo e dell'approvvigionamento dei materiali, considerando una capacità media per automezzo di 17 mc e un percorso medio per il cantiere base di 350 m e per i restanti cantieri di 250 m.

	Volume [m3]
Volume movimentato (scavato e riutilizzato + scavato allontanato + approvvigionato posato)	600.000 m3 circa
Materiale approvvigionato (cemento, strato anticapillare, strato di base, bitumi)	150.000 m3 circa

Carico/scarico dei terreni

L'attività di movimentazione, di compattazione, di carico/scarico su automezzi di materiali inerti o comunque incoerenti determina un'emissione diffusa in atmosfera di particolato, variabile con l'umidità del materiale movimentato e con l'intensità del campo di vento presente in quel momento.

L'US-EPA (ovvero l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente statunitense) ha proposto nella pubblicazione "AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors" nella sezione "13.2.4 Heavy Construction Operations", una formula sperimentale per il calcolo del fattore emissivo di PM10 e PM2,5 in atmosfera da operazioni di movimentazione, compattazione e carico/scarico di materiali inerti, a seconda dell'umidità degli stessi.

$$EF_{\text{movimentazione}} = 0,0016 \cdot k \cdot \frac{\left(\frac{V_v}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{U}{2}\right)^{1,4}}$$

Dove EF è il fattore di emissione espresso in Kg per tonnellata di materiale movimentato, k è un fattore moltiplicativo per il tipo di particolato (vale 0,35 per PM10 e 0,05 per PM2,5), Vv è la velocità del vento espressa in metri al secondo, U è la percentuale di umidità del materiale.

Nella figura seguente è visibile la curva che rappresenta il fattore emissivo al variare della percentuale di umidità del materiale stesso e della velocità del vento.

Come prevedibile, al diminuire della velocità del vento, il fattore emissivo cala visibilmente, così come all'aumentare della percentuale di umidità del materiale lavorato.

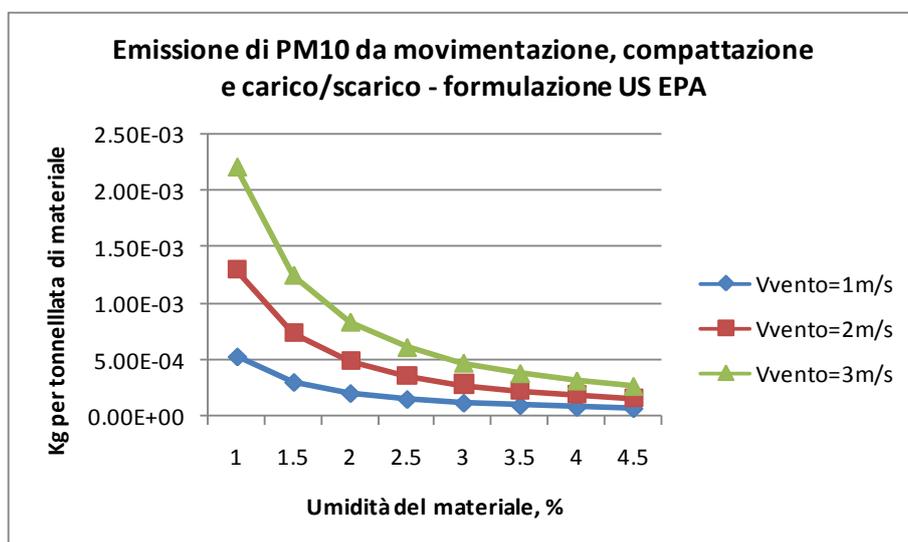


Figura 7.4 - Fattore di emissione di polveri sottili derivanti da attività di movimentazione di materiali sciolti; al variare dell'umidità del materiale e delle velocità del vento.

Assumendo che vengano adottati tutti gli accorgimenti necessari per limitare la diffusione di polveri le emissioni ottenute sono:

	PM 10	PM 2.5
EM [kg/ton]	0.000567	8.58E-05

Per i quantitativi si è fatto riferimento al totale del volume movimentato (392.940 m3) e ai volumi approvvigionati di strato anticapillare e strato di base.

Attività di movimentazione del terreno (scavo/rinterro)

Per i fattori emissivi di polveri causati dall'attività di sistemazione dell'area e scavi/rinterri si utilizzerà il fattore fornito nella Tabella 11.9-4 dell'AP-42 per l'attività di rimozione del suolo superficiale, pari a 0,029 kg/ton.

	PM 10	PM 2.5
EM [kg/ton]	0.005678	0.000795

I quantitativi scavati sono quelli relativi agli scavi a cielo aperto e in galleria.

Impianto di frantumazione inerti

L'attività di frantumazione, macinazione e comunque di vagliatura e/o riduzione volumetrica di materiale incoerente determina un'emissione diffusa in atmosfera di particolato, differenziata per sotto-attività specifica.

L'US-EPA (ovvero l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente statunitense) ha proposto nella pubblicazione "AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors" nella sezione "11.19.2", un fattore emissivo sperimentale per la stima delle emissioni di PM10 e PM2,5 in atmosfera da operazioni di frantumazione, macinazione e riduzione volumetrica, con o senza abbattimento; in tabella seguente sono visibili i fattori emissivi.

Tabella 7-1 Fattori di emissione per PM10 e PM2,5 per ogni singola sotto-operazione di frantumazione, macinazione ecc... (fonte US-EPA). Kilogrammi per tonnellata di materiale movimentato.

	senza abbattimento		con abbattimento	
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
<i>estrazione con perforazione</i>	4,00E-05	2,40E-05	0,00E+00	0,00E+00
<i>frantumazione primaria</i>	-	-	-	-
<i>frantumazione secondaria</i>	4,30E-03	2,58E-03	3,70E-04	2,22E-04
<i>frantumazione terziaria</i>	1,20E-03	7,20E-04	2,70E-04	1,62E-04
<i>frantumazione fine</i>	7,50E-03	4,50E-03	6,00E-04	3,60E-04
<i>vagliatura</i>	4,30E-03	2,58E-03	3,70E-04	2,22E-04
<i>vagliatura fine</i>	3,60E-02	2,16E-02	1,10E-03	6,60E-04
<i>nastro trasportatore</i>	5,50E-04	3,30E-04	2,30E-05	1,38E-05
<i>scarico camion/tramoggia</i>	8,00E-06	4,80E-06	0,00E+00	0,00E+00
<i>carico nastro/camion</i>	5,00E-05	3,00E-05	0,00E+00	0,00E+00

I fattori in questo caso considerati sono, nell'ipotesi di adozione di presidi quali la bagnatura:

	PM 10	PM 2.5
EM [kg/ton]	7.63E-04	4.58E-04

Le emissioni suddivise per cantiere sono riportate nella figura seguente.

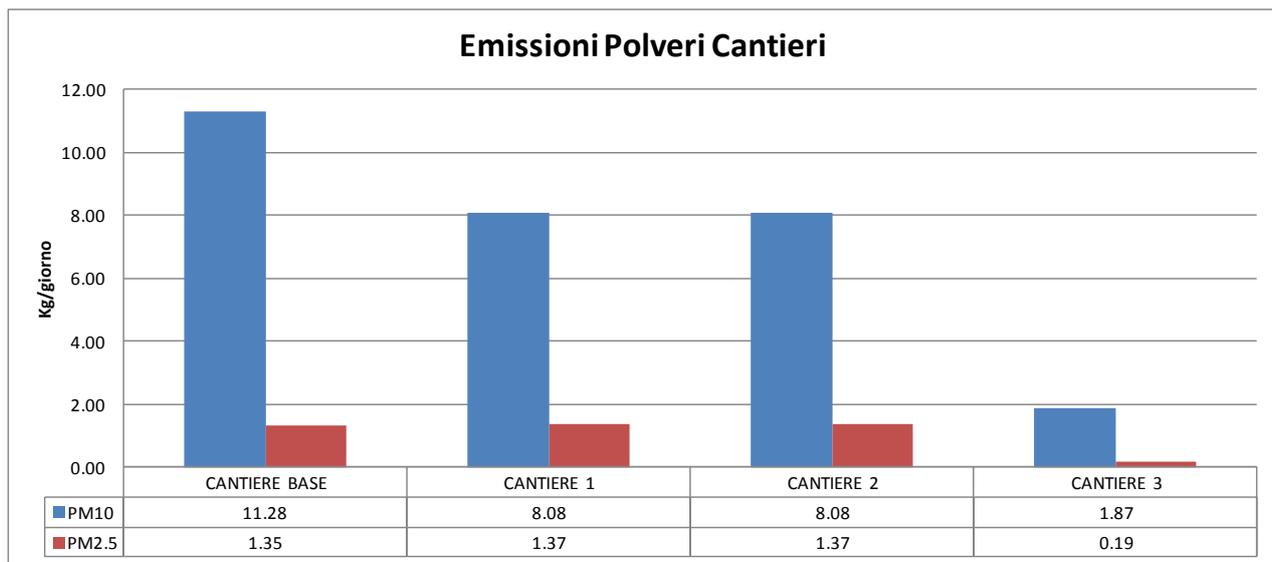


Figura 7.5 – Emissione polveri da cantieri.

Fase di esercizio

Il processo di combustione nei motori dei veicoli produce delle emissioni sia in termini gassosi (NO_x, CO₂, CO, benzene) sia in termini di particolato (PM₁₀).

I fattori di emissione sono stati calcolati, per questo studio, con il modello COPERT 5.2, che utilizza gli standard europei.

Copert 5.2 è un software sviluppato come strumento europeo per il calcolo delle emissioni appositamente per il settore del trasporto su strada. Le emissioni calcolate includono diversi tipi di contaminanti tra cui CO, NO_x, VOC, PM, ma anche NH₃, SO₂, etc...

Copert 5.2 è in grado di valutare le emissioni di diversi tipi di veicoli, che utilizzano diverse tecnologie, tenendo conto del carburante utilizzato e della classificazione Europea. Il software offre tre metodologie differenti per la stima delle emissioni da trasporto su strada:

- Tier 1: l'approccio utilizza il combustibile come indicatore di attività, in combinazione con i fattori di emissione medi specifici per ciascun combustibile, secondo la seguente espressione:

$$E_i = \sum_j (\sum_m (FC_{j,m} \times EF_{i,j,m}))$$

In cui E_i è l'emissione di inquinante [g], FC_{j,m} rappresenta il consumo di carburante della categoria di veicolo j che utilizza il combustibile m [kg], EF_{i,j,m} rappresenta il fattore di emissione specifico per combustibile del contaminante i per il veicolo di categoria j e combustibile m. I valori di FC_{j,m} e EF_{i,j,m} sono valori generali e nel caso di FC sono sito specifici (variabili da nazione a nazione europea).

- Tier 2: questo approccio considera il combustibile utilizzato dalle differenti categorie di veicoli e le loro emissioni standard, tenendo conto delle differenti tecnologie utilizzate secondo gli standard europei (Euro 1, Euro 2, etc..)

Vehicle category (j)	Type	Legislation/technology (k)
Passenger cars	Petrol Mini	Euro 4, Euro 5, Euro 6
	Petrol Small, Medium, Large-SUV-Executive	PRE ECE, ECE 15/00-01, ECE 15/02, ECE 15/03, ECE 15/04, Improved Conventional, Open-Loop, Euro 1 - Euro 6 2020+
	Diesel Mini	Euro 4, Euro 5, Euro 6 2020+
	Diesel Small, Medium, Large-SUV-Executive	Conventional, Euro 1 - Euro 6 2020+
	LPG Mini	Euro 4, Euro 5, Euro 6
	LPG Small, Medium, Large-SUV-Executive	Conventional, Euro 1 - Euro 6
	2-stroke	Conventional
	Petrol Hybrids	Euro 4, Euro 5, Euro 6 2020+
	CNG	Euro 4, Euro 5, Euro 6
Light commercial vehicles	Petrol	Conventional, Euro 1 - Euro 6 2021+
	Diesel	Conventional, Euro 1 - Euro 6 2021+
Heavy-duty vehicles	Petrol and Diesel	Conventional, Euro I - Euro VI
Buses	Urban CNG buses	Euro I, Euro II, Euro III, EEV
	Urban buses, Coaches	Conventional, Euro I - Euro VI
	Urban biodiesel buses	Conventional, Euro I - Euro VI
Mopeds	2-stroke < 50 cm ³	Conventional, Euro 1 - Euro 5
	4-stroke < 50 cm	
Motorcycles	2-stroke > 50 cm ³	Conventional, Euro 1 - Euro 5
	4-stroke 50-250 cm ³	Conventional, Euro 1 - Euro 5
	4-stroke 250-750 cm ³	Conventional, Euro 1 - Euro 5
	4-stroke > 750 cm ³	Conventional, Euro 1 - Euro 5
Mini-cars	Diesel	Conventional, Euro 1 - Euro 5
ATVs	Petrol	Conventional, Euro 1 - Euro 5

Figura 7.6- Tipologie di veicoli implementati in Copert 5.2

In questo approccio occorre fornire al software anche il numero e tipologia di veicoli e il chilometraggio annuale per tecnologia. I fattori di emissione e il consumo di carburante in questo caso tengono conto della tecnologia utilizzata (standard Euro 1, Euro 2, etc...).

- Tier 3: in questo approccio le emissioni calcolate tengono conto anche della temperatura del motore e delle emissioni transienti durante le varie operazioni del motore. Infatti le emissioni dipendono fortemente dalle condizioni di utilizzo del motore. Differenti condizioni di guida (urbano, rurale e autostrada) determinano differenti condizioni sul motore e quindi diverse emissioni. Incidono inoltre le condizioni climatiche, la distanza media del viaggio, la velocità media, la pendenza della strada e la percentuale di carico (nel caso di mezzi pesanti)

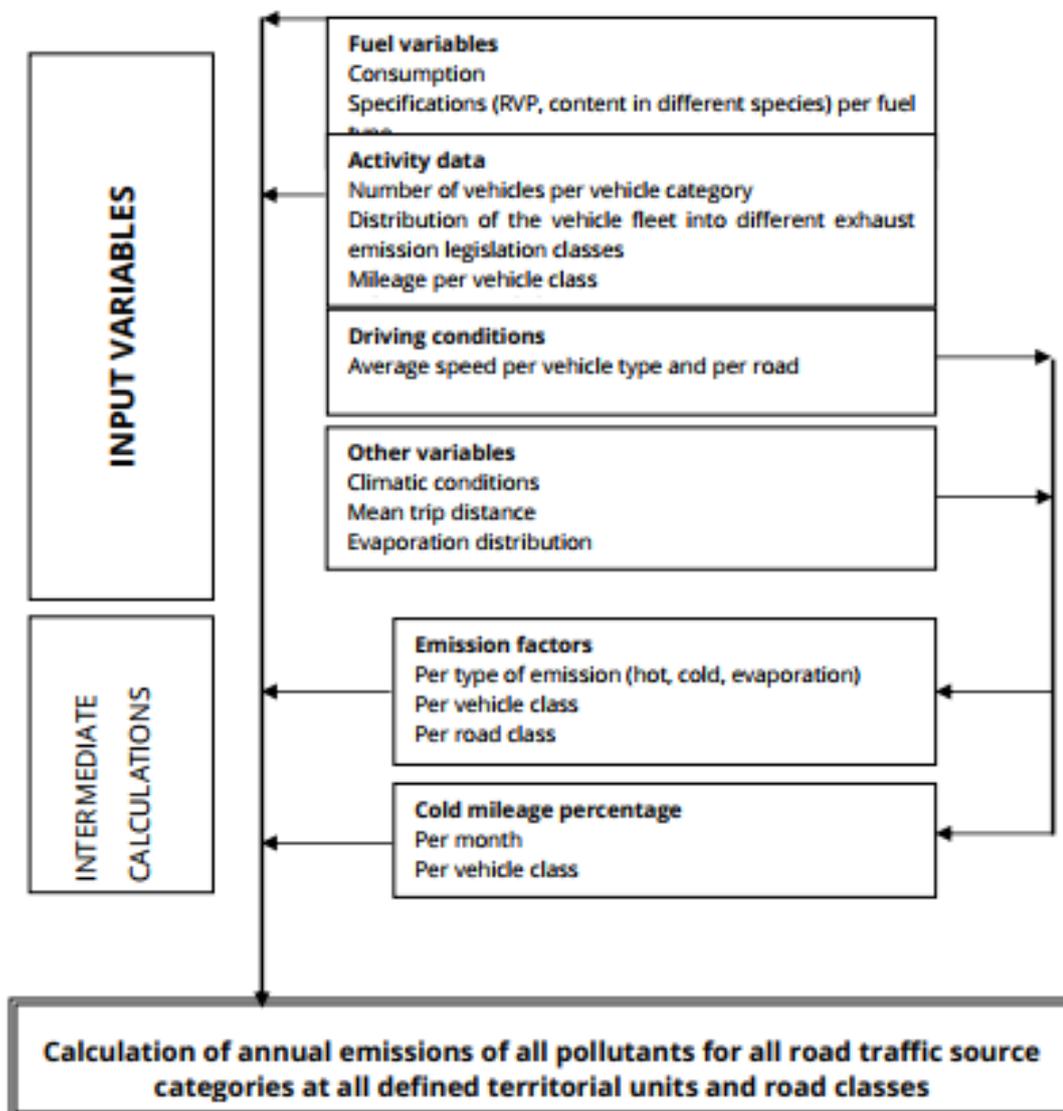


Figura 7.7- Variabili in ingresso per l'approccio Tier 3 in Copert 5.2

Per questo studio, per valutare i fattori di emissione dei mezzi di trasporto è stato utilizzato l'approccio Tier3, mentre per la tipologia di mezzi si sono utilizzati i dati del parco veicolare nella Provincia di Cuneo fornito dall'ACI, aggiornato al 2018.

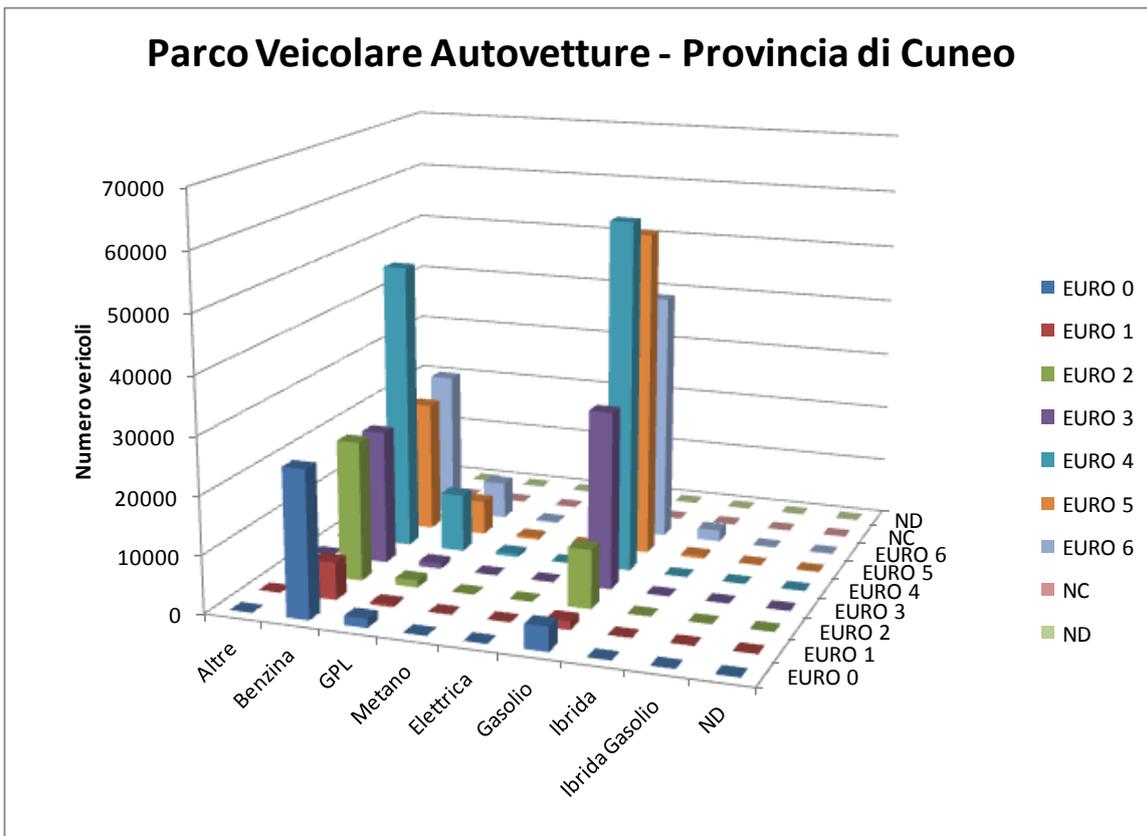


Figura 7.8- Parco veicolare Provincia di Cuneo (ACI 2018) per Autovetture, suddiviso per alimentazione e Norma Euro.

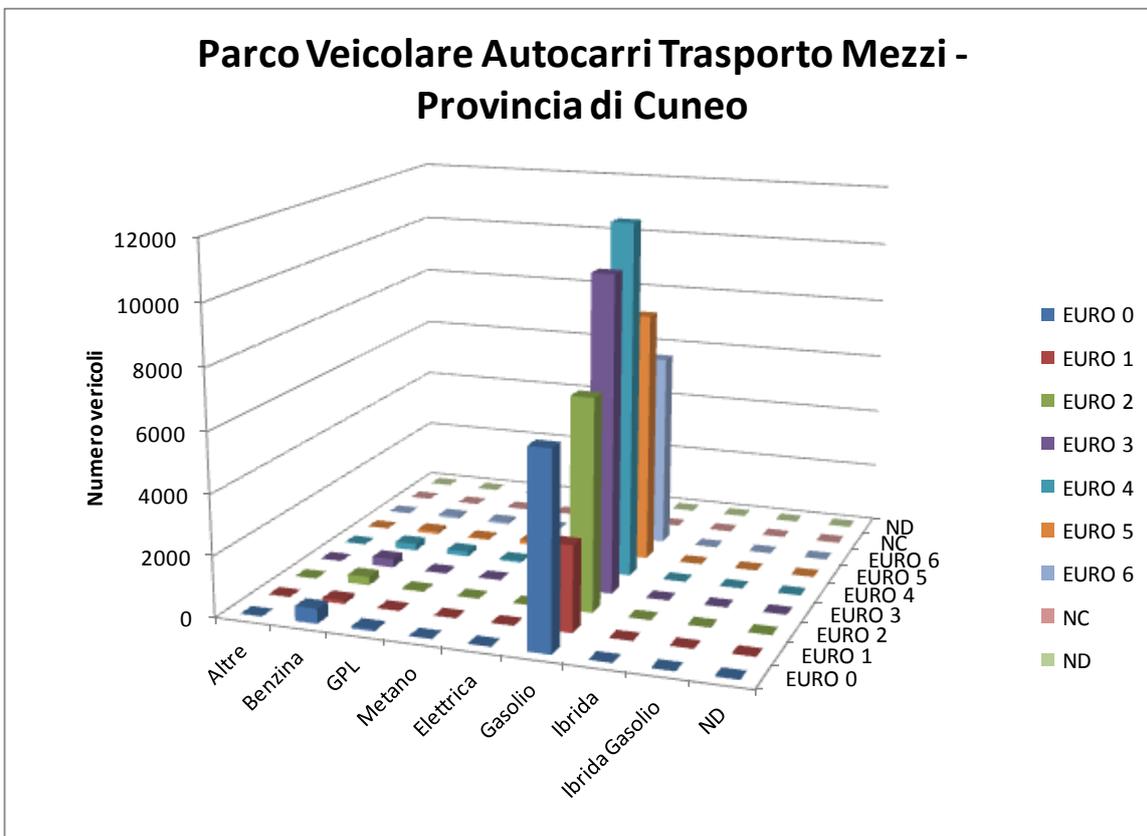


Figura 7.9- Parco veicolare Provincia di Cuneo (ACI 2018) per autocarri, suddiviso per alimentazione e Norma Euro.

Il numero di mezzi circolanti per ogni tratto di interesse è stato dedotto dallo studio del traffico e il fattore emissivo da associare a ciascun tratto è stato valutato anche a seconda della velocità di scorrimento presente. I fattori di emissione sono riepilogati nella tabella sottostante.

Velocità	CO [g/km]	NOX [g/km]	PM TSP [g/km]	PM10 [g/km]	PM2.5 [g/km]	Benzene [g/km]	NO2 [g/km]
30 Km/h	0.56	0.67	0.064	0.049	0.034	0.0051	0.150
50 Km/h	0.43	0.62	0.059	0.044	0.030	0.0035	0.125
80 Km/h	0.41	0.66	0.050	0.036	0.026	0.0027	0.120
90 Km/h	0.46	0.69	0.047	0.034	0.026	0.0028	0.127
100 Km/h	0.54	0.75	0.048	0.034	0.026	0.0031	0.139
110 Km/h	0.68	0.82	0.049	0.036	0.028	0.0036	0.156

L'SO2 non è stato considerato in quanto ormai trascurabile nel parco veicolare attuale. La distribuzione dei veicoli nell'arco della giornata è stata calcolata a partire dalle misure effettuate per lo studio del traffico in cui emerge come la condizione più critica si presenti nella fascia 7:30-8:30 del martedì.

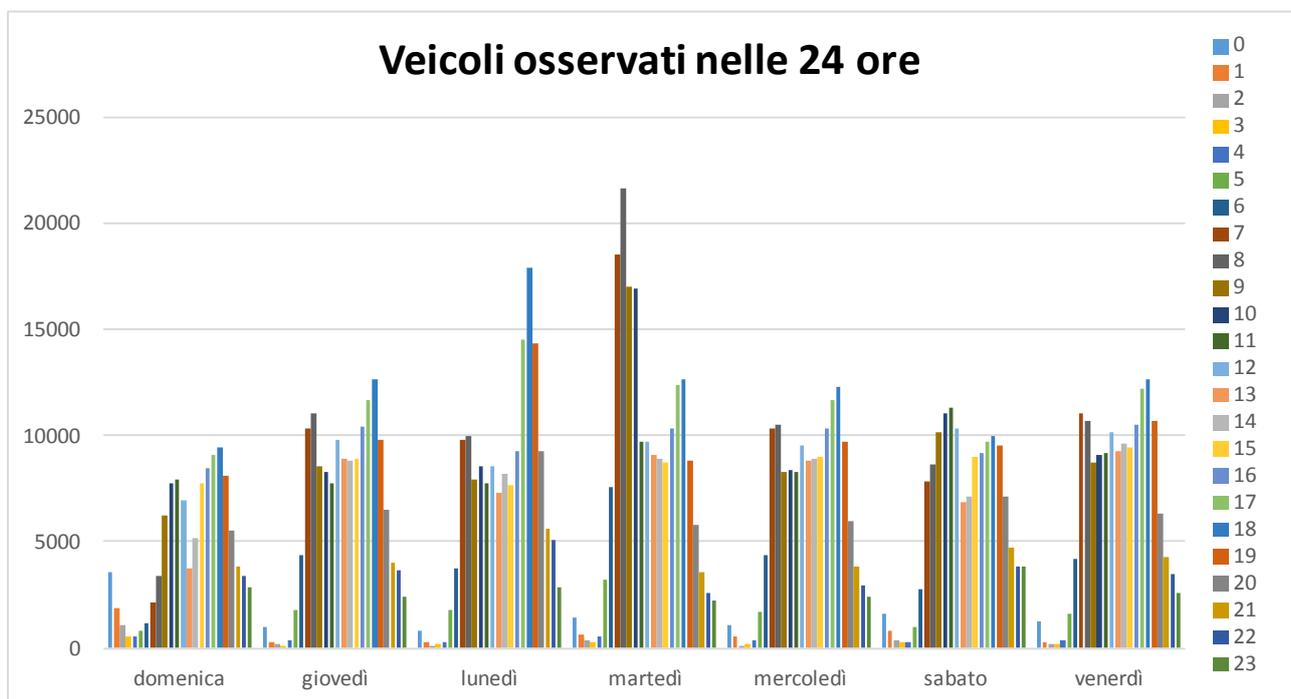


Figura 7.10- Distribuzione oraria del numero di veicoli osservati nei punti di monitoraggio (Dati da Studio del Traffico)

Per la valutazione delle ricadute al suolo i pesi utilizzati (relativi all'ora di picco del mattino) sono mostrati nella figura seguente.

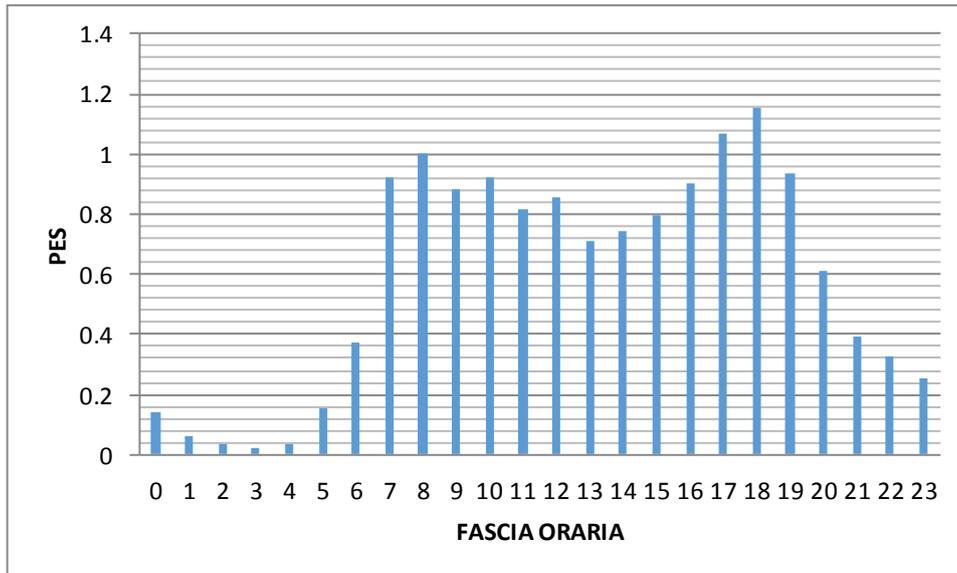


Figura 7.11- Distribuzione dei veicoli nell'arco della giornata, rispetto all'ora di punta del mattino.

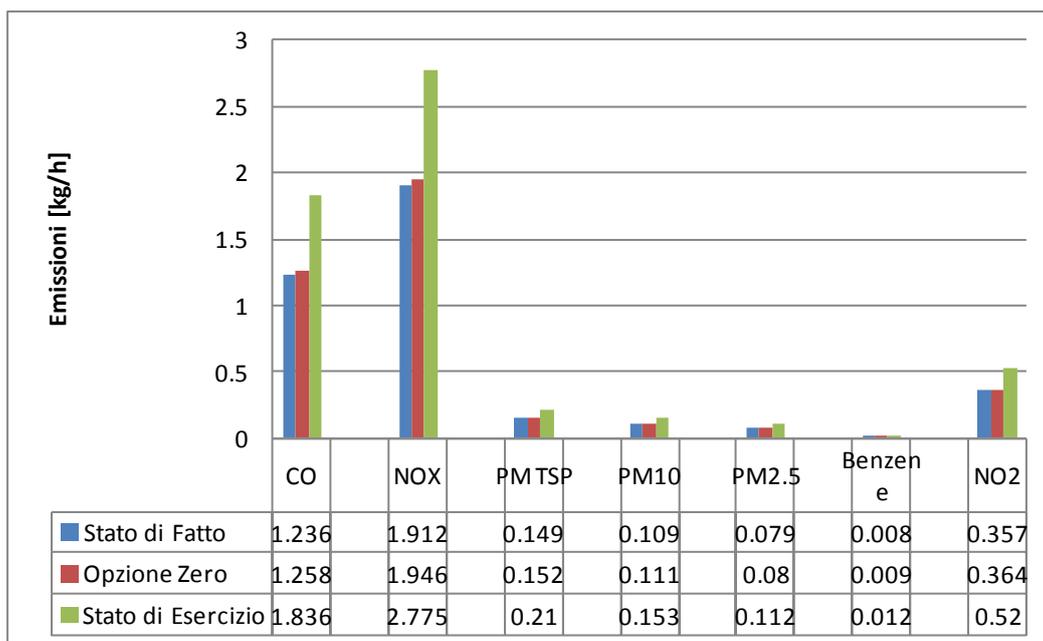


Figura 7.12- Emissioni complessive per le sorgenti considerate

Nello Stato di esercizio, l'emissione complessiva aumenta poiché al grafo stradale attuale si aggiungono le nuove sorgenti rappresentate dalle opere in progetto.

La galleria naturale di per sé non rappresenta una fonte di emissione, però vista la presenza di un sistema di aereazione bidirezionale, sono state considerate due sorgenti di emissione puntuali in corrispondenza di ciascun imbocco. Il calcolo per la richiesta di ricambio d'aria nella galleria è stato effettuato sulla base della metodologia indicata dalle linee guida PIARC (2019):

$$Q = \frac{G_{tun}}{C_{adm} - C_{amb}}$$

In cui Q [m³/s] è la portata di ricambio richiesta, G_{tun} [g/s] per gas e [m²/s] per la visibilità è l'emissione di inquinanti, C_{adm} [g/m³] è la concentrazione ammissibile in galleria, C_{amb} [g/m³] è la concentrazione presente nell'ambiente esterno.

I valori indicati dalla PIARC di concentrazione in galleria per dimensionare la portata di ricambio richiesta sono di seguito indicati.

	CO	NOX	PM10	PM2.5	PM2.5/PM10
Valore di progetto [g/m ³]	0.08 g/m ³	0.0018 g/m ³	0.3 g/m ³	0.001 g/m ³	0.7 g/m ³

Considerando che la galleria è dotata di un sistema di ventilazione bidirezionale in grado di movimentare 24,85 m³/s, si sono considerati i seguenti valori di emissione costanti per entrambi gli imbocchi, per l'ora di punta del mattino:

	CO	NOX	PM10	PM2.5	Benzene	NO2
Emissione [g/km*veic]	0.54	0.75	0.035	0.027	0.0031	0.139
Lunghezza per ciascuna direzione [m]	725	725	725	725	725	725
Veic/h	552	552	552	552	552	552
G _{tun} [g/s]	0.060	0.083	0.0038	0.0029	0.00034	0.0154
Q [m ³ /s]	0.75			2.78		8.39

Pertanto si assume un funzionamento continuo pari a 10 m³/s del sistema di ventilazione bidirezionale, che risulta quindi compatibile con la massima portata di progetto (24.85 m³/s) con i seguenti valori di emissione:

	CO	NOX	PM10	PM2.5	Benzene	NO2
Emissione [g/s]	0.059	0.083	0.0039	0.0030	0.00034	0.0154

8 Traffico indotto nella fase di cantiere

Il traffico atteso in fase di cantiere sulla viabilità esistente è stato calcolato sulla base dei volumi di materiale ottenuti dal bilancio terre per ciascun cantiere.

I mezzi in entrata e in uscita dal cantiere base si immettono sulla S.P. 5 "Villanova" per poi proseguire verso sud o verso ovest sulla SS704.

I mezzi in entrata e in uscita dal cantiere operativo 1 si immettono sulla strada Via Vecchia di Frabosa, per poi proseguire verso sud per raggiungere i siti di approvvigionamento o di deposito definitivo.

I mezzi in entrata e uscita dal cantiere operativo 2 e 3 si immettono direttamente sulla SS28 per poi proseguire verso nord o verso sud.

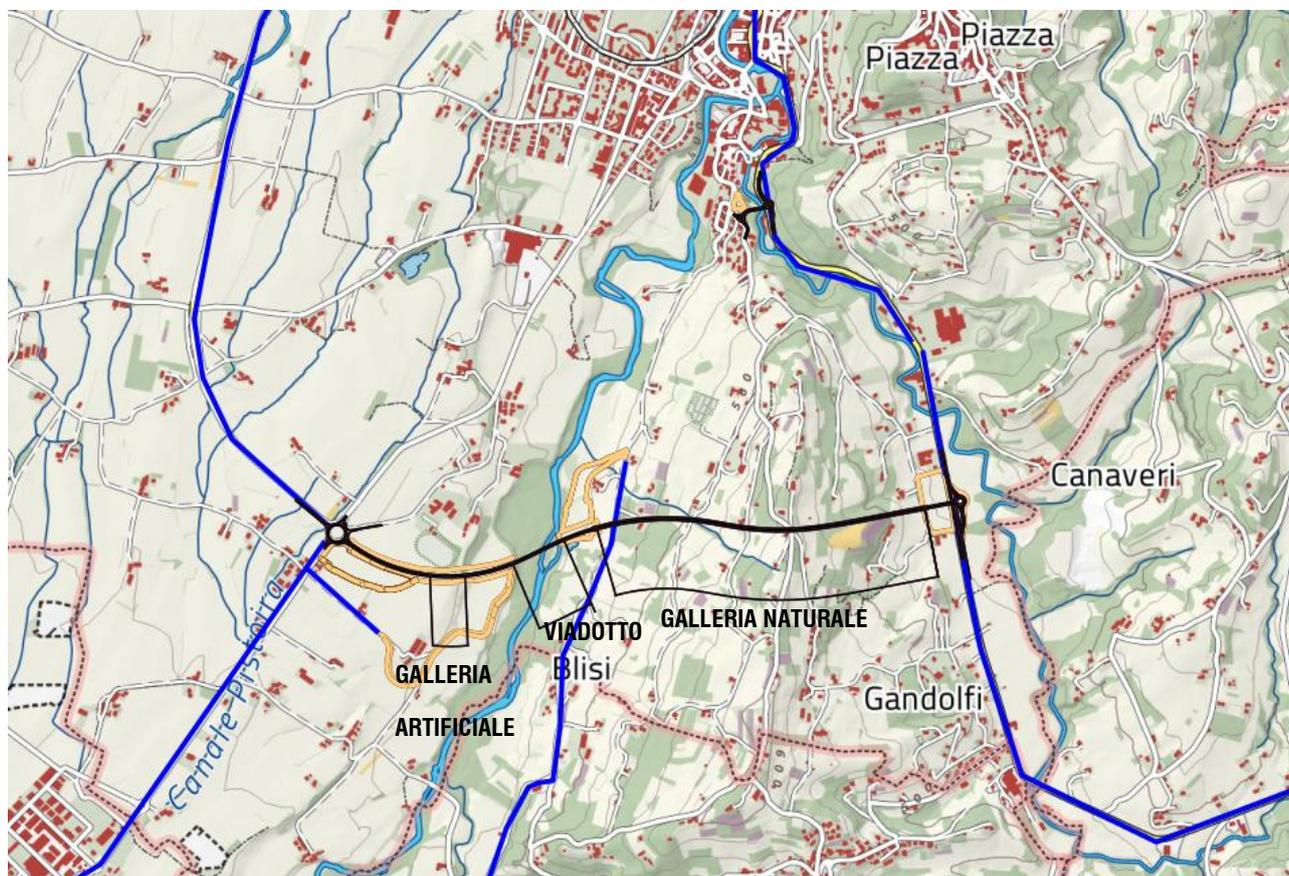


Figura 8.1- In blu i percorsi dei mezzi di cantiere dai/verso i siti di approvvigionamento o deposito definitivo

Il traffico atteso sulla viabilità pubblica in termini di mezzi/giorno è stato calcolato considerando che il volume totale (in approvvigionamento da allontanare) del materiale da movimentare è circa pari a 600.000 m³ e che la capienza di ogni mezzo è di circa 17 m³. Considerando anche che la maggior parte del materiale (400.000 m³ circa) verrà movimentato dai cantieri operativi 1 e 2 nella fase di scavo della galleria naturale in 570 giorni (400 giorni lavorativi) considerando anche la realizzazione degli imbocchi, si ottiene per ciascun cantiere un TGM pari a 60 veicoli/giorno.

Tale traffico risulta poco significativo se confrontato con il traffico totale che interessa la viabilità di interesse allo stato attuale:

Stato di fatto 2019

Nome	TGM*		
	Leggeri	Pesanti	Totale
SS 28 (1)	8397	208	8605
SS 28 (2)	8397	208	8605
SS 704	5941	405	6347
SP 5	7867	164	8031
Tangenziale in progetto	-	-	-
Ponte Rione Borgato	-	-	-

Ad ogni modo si sono valutati gli impatti della circolazione dei mezzi pesanti sulla viabilità pubblica in corrispondenza dei recettori più prossimi ai cantieri attraverso il tool CAL3qhcrug, sviluppato dal California Department of Transportation, che simula la dispersione degli inquinanti vicino ad autostrade o arterie stradali ed è basato sull'equazione Gaussiana di diffusione. Il modello quindi effettua simulazioni a micro-scala, per valutare le ricadute sui recettori in prossimità del tratto stradale, utilizzando i dati meteo effettivi della zona. Nella Figura seguente si riportano i risultati ottenuti come massimo sulla media sulle 24 ore per PM10 (limite pari a 50 µg/m³) e come media annuale (per il PM10 limite pari a 40 µg/m³) e per PM2.5 (il cui limite sulla concentrazione annua è pari a 25 µg/m³) per recettori a diversa distanza dall'asse stradale.

Si osserva come il contributo del traffico dei mezzi indotti dal cantiere sui recettori prossimi possa considerarsi trascurabile e decresca rapidamente allontanandosi dall'asse viario.

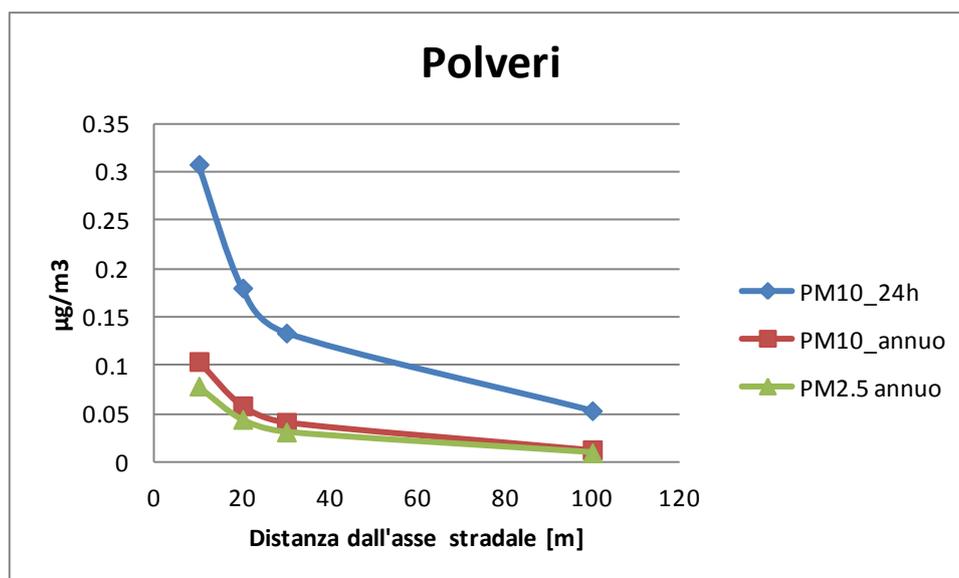


Figura 8.2- Concentrazione di PM10 e PM2.5 in recettori a diversa distanza dall'asse stradale interessata dal transito dei mezzi pesanti indotti dall'opera.

9 Modello di dispersione

L'emissione di inquinanti o di composti odorigeni ha luogo, normalmente, nei pressi della superficie terrestre ed interessa una porzione relativamente limitata di atmosfera. Lo studio delle caratteristiche fisiche di tale strato (indicato come Planetary Boundary Layer, PBL) normalmente non rientra negli interessi della Meteorologia Generale e costituisce attualmente una disciplina autonoma denominata Micrometeorologia.

La difficoltà insita nello studio del PBL deriva dal fatto che l'elemento che sovrintende al suo comportamento dinamico è la turbolenza dell'aria, concetto molto sfuggente, ma essenziale per comprendere perché e come gli inquinanti si diffondano nell'aria e perché la loro distribuzione spaziale e temporale sia tanto bizzarra e per certi versi imprevedibile. L'equazione di riferimento è quella denominata come equazione euleriana semiempirica della dispersione in atmosfera:

$$\frac{\partial \bar{c}_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 \left(\bar{u}_j \cdot \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial x_j} \right) = \sum_{j=1}^3 \left\{ \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot \left[K_{jj} \cdot \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial x_j} \right] \right\} + \bar{S}_c + R_i(\bar{c}_1, \dots, \bar{c}_N)$$

Dove \bar{c}_i è la concentrazione media dell'inquinante *i*-simo, \bar{u}_j è la velocità media del vento nelle 3 direzioni, K_{jj} è il tensore che rappresenta la diffusività atmosferica, \bar{S}_c rappresenta il tasso di produzione (sorgente) o di decadimento, R_i rappresenta i termini di reazione chimica dell'inquinante *i*-simo.

Se gli inquinanti di interesse sono N, si avranno N equazioni del tipo sopra. Questa equazione costituisce il punto di riferimento della teoria della dispersione degli inquinanti in aria. Tale equazione differenziale alle derivate parziali è irrisolvibile in maniera analitica se non facendo ipotesi e semplificazioni.

Una evoluzione dei modelli numerico-matematici utilizzati per la descrizione dei fenomeni appena descritti sono i modelli lagrangiani a *puff*.

Le ipotesi della trattazione matematica lagrangiana sono le seguenti:

- Il mezzo materiale di attraversamento (nel nostro caso l'aria) è supposto un insieme di particelle discrete tra loro indipendenti
- Il moto di ciascuna particella è legata al moto totale del fluido (trattazione stocastica a causa della turbolenza dell'atmosfera)
- Una sorgente S_0 emette un numero finito di particelle (*n*) ognuna delle quali è dotata di precise caratteristiche fisiche.

Un modello lagrangiano a *puff*, a sua volta, segue e studia il cammino di ciascun *puff* emesso dalle varie sorgenti attive nel dominio di calcolo.

I puff emessi da ogni sorgente si muovono nel tempo sul territorio: il centro del puff viene trasportato dal campo di vento tridimensionale mentre la diffusione causata dalla turbolenza atmosferica provoca l'allargamento del puff ed è descritta dalle funzioni di dispersione. Nella figura seguente è esplicitato graficamente quanto detto prima.

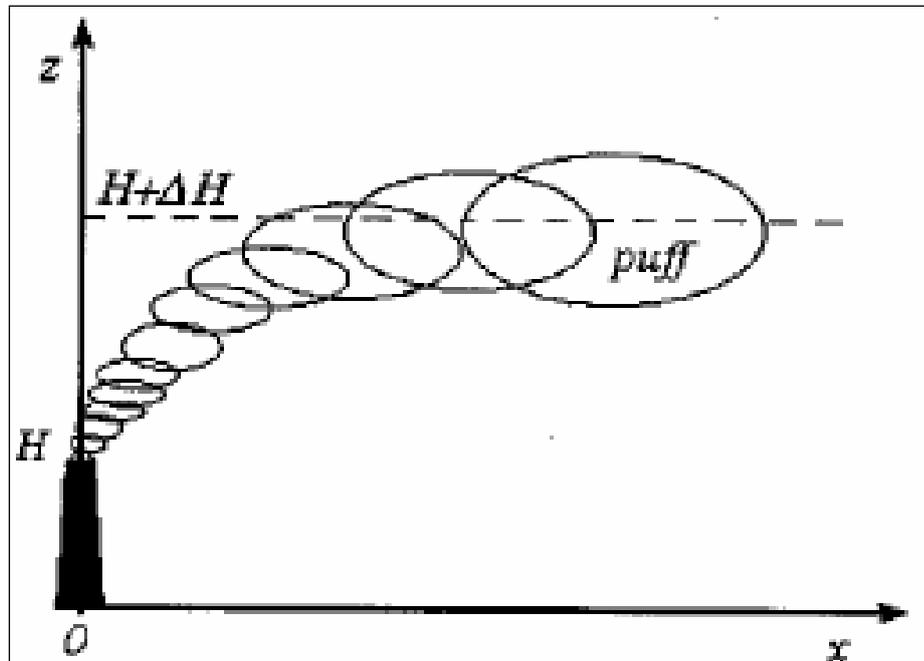


Figura 9.1- Evoluzione del puff a seconda del campo meteorologico tridimensionale

Lo spostamento di ogni puff è calcolato ad ogni intervallo di tempo muovendo il suo centro di massa in accordo con il vento presente in quel punto ed in quell'istante. Come è evidente, per poter fare tali elaborazioni è indispensabile disporre di un campo tridimensionale del vento calcolato da un modello diagnostico (CALMET, modello meteorologico diagnostico a divergenza nulla).

Dal momento che tale campo di vento 3D è disponibile, il cambiamento di posizione (x, y, z) del centro di massa (per ogni step Δt) di ogni singolo puff è dato da:

$$\begin{cases} x(t + \Delta t) = x(t) + \int_t^{t+\Delta t} \bar{u}(t'; x(t'), y(t'), z(t')) \cdot dt' \\ y(t + \Delta t) = y(t) + \int_t^{t+\Delta t} \bar{v}(t'; x(t'), y(t'), z(t')) \cdot dt' \\ z(t + \Delta t) = z(t) + \int_t^{t+\Delta t} \bar{w}(t'; x(t'), y(t'), z(t')) \cdot dt' \end{cases}$$

Con u , v e w componenti, orizzontali e verticali del campo vettoriale di vento.

Il modello lagrangiano scelto per questo tipo di analisi è *CALPUFF* sviluppato da Earth Tech Inc. e inizialmente sponsorizzato dal *California Air Resource Board (CARB)*.

Il modello è associato a un modello diagnostico per la ricostruzione di campi di vento su aree ad orografia complessa (*CALMET*, vedi paragrafo precedente) e ad un postprocessore (*CALPOST*) per la analisi dei dati calcolati, oltre che a numerosi programmi di supporto utilizzabili soprattutto per dati di provenienza americana, sia di tipo meteorologico che geofisico.

CALPUFF può simulare l'evoluzione spazio temporale di emissioni di varia natura (areali, puntiformi e volumetriche) anche variabili nel tempo simulando fenomeni di rimozione (sia secca che umida) e semplici interazioni chimiche. *CALPUFF* può utilizzare come input i campi meteorologici variabili prodotti dal modello *CALMET* o utilizzare dati provenienti da una stazione al suolo (come i più semplici modelli gaussiani). Nel nostro caso i dati di input sono i campi meteo generati da *CALMET* così come descritto nella Caratterizzazione Ambientale. Nel nostro caso il dominio di calcolo utilizzato è perfettamente sovrapponibile al reticolo di calcolo meteorologico definito e descritto nella Caratterizzazione Ambientale.

Gli algoritmi inseriti nel modello consentono di trattare sia effetti vicini alla sorgente, quali downwash degli edifici, transitional plume rise, penetrazione parziale del plume rise in inversioni in quota, sia effetti di lungo raggio quali deposizione secca e umida, trasformazioni chimiche, presenza di vertical wind shear, overwater and coastal transport. *CALPUFF* utilizza diverse possibili formulazioni per il calcolo dei coefficienti di dispersione e per il calcolo del plume rise.

Il modello calcola le concentrazioni orarie delle specie di inquinanti simulate e i flussi di deposizione secca e umida.

CALPUFF applica un'equazione specifica per il calcolo dell'innalzamento del plume imponendo una velocità minima di 0.5 m/s. La deposizione umida non è stata attivata.

Per l'applicazione al caso di studio il modello a grande scala è stato infittito su una griglia con le seguenti caratteristiche:

Origine (WGS 84 UTN 32N): 402.936; 4912.545 Km

$\Delta x = \Delta y = 50$ m

$N_x = N_y = 100$

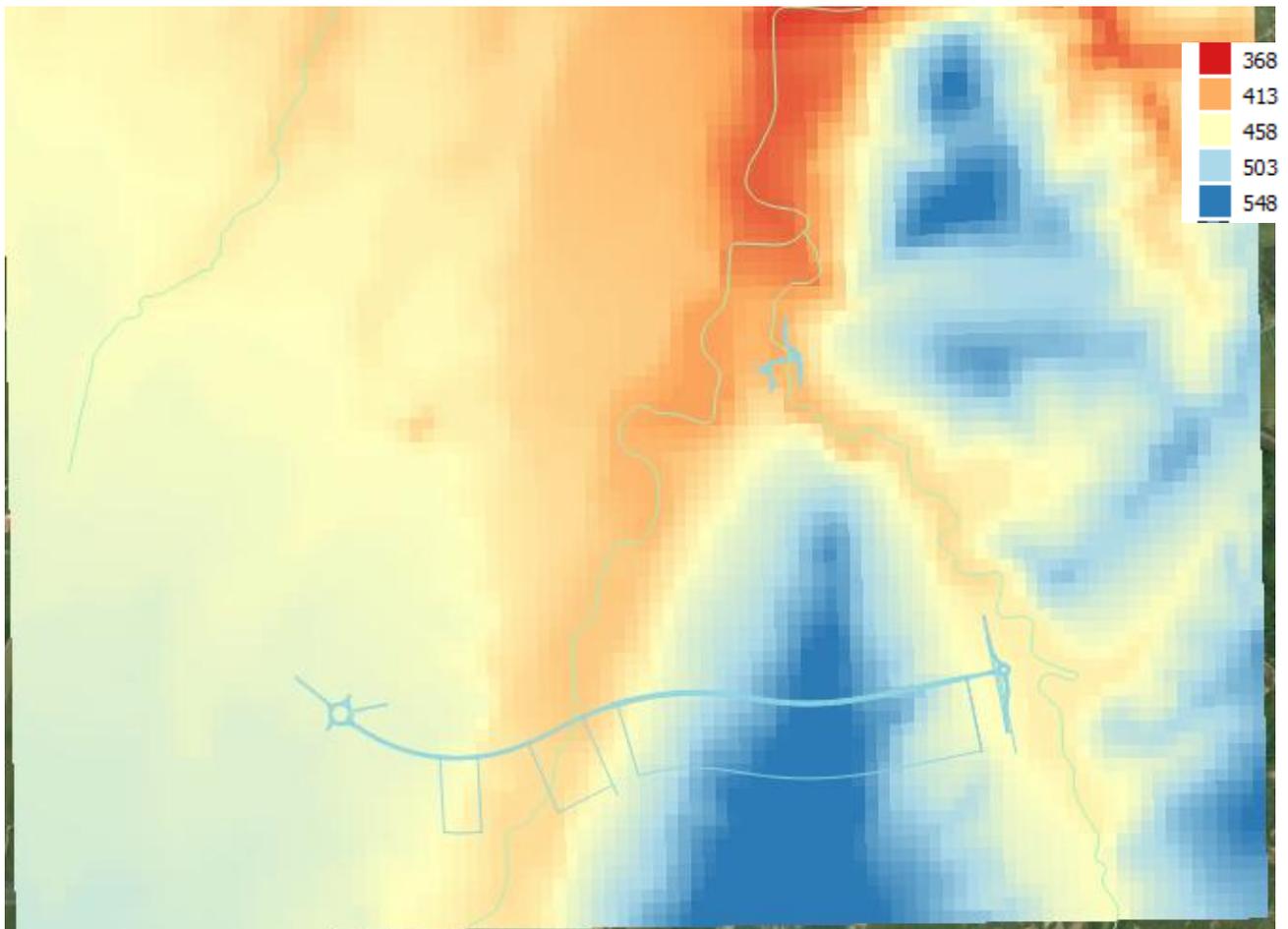


Figura 9.2- Griglia di calcolo infittita nell'area di interesse per la valutazione della ricaduta al suolo (i colori sono il DEM in m s.l.m.)

10 Impatti dell'opera in fase di cantiere

Polveri fini

La normativa (Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002, così come ripreso dal D.Lgs. 155/10) prevede i seguenti limiti di legge per quanto riguarda le polveri fini:

PM2,5			
FASE I			
Anno civile	25 µg/m ³	20% l'11 giugno 2008, con riduzione il 1° gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0 % entro il 1° gennaio 2015	1° gennaio 2015

I principali risultati sono riassunti nella seguente tabella:

PM2.5 (media annua)	Fase cantiere µg/m ³	% VL
Recettore peggiore	1.79(R3)	7.16%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	0.0057	0.023%

Il recettore maggiormente interessato risulta l'R3, nei pressi dell'imbocco ovest della galleria naturale e in prossimità del cantiere operativo 1, con valori comunque ampiamente al di sotto dei limiti normativi. Il recettore sensibile a Rione Borgato (scuola) non risulta sostanzialmente interessato dalla polverosità di cantiere.

Polveri sottili

La normativa (Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002, così come ripreso dal D.Lgs. 155/10) prevede i seguenti limiti di legge per quanto riguarda le polveri sottili:

PM10 **			
l giorno	50 µg/m ³ , da non superare più di 35 volte per anno civile	50 % il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante	— (1)
Anno civile	40 µg/m ³	20 % il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0 % entro il 1° gennaio 2005	— (1)

I principali risultati sono riassunti nella seguente tabella:

PM10 (valore medio annuo)	Fase cantiere µg/m3	% su VL
Recettore peggiore	10.65 (R3)	25.6%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	0.056(R13)	0.14%

PM10 (90.4° percentile media 24h)	Fase cantiere µg/m3	% su VL
Recettore peggiore	23.3 (R3)	46.6%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	0.203(R13)	0.40%

Anche per le polveri sottili i valori risultano al di sotto dei limiti normativi e il recettore sensibile a Rione Borgato (scuola) non risulta sostanzialmente interessato dalla polverosità di cantiere.

La polvere è il principale problema che si riscontra in fase di cantiere. I principali accorgimenti da adottare per limitarne gli impatti consistono nella bagnatura delle strade non asfaltate, nel coprire il carico dei mezzi che trasportano materiale pulverulento, nel lavaggio ruote e nel porre la massima attenzione nella fase del carico/scarico, per esempio scegliendo dei luoghi lontani dai recettori o da aree sensibili. Il monitoraggio in questa fase risulta fondamentale per la verifica della corretta applicazione dei suddetti presidi.

I risultati mostrano comunque come ai recettori i valori risultino inferiori al limite normativo previsto.

11 Impatti dell'opera in fase di esercizio

L'implementazione del modello matematico ha dato origine ad una serie molto interessante di risultati.

È stata simulata la dispersione in atmosfera dei principali macroinquinanti: polveri sottili (PM10), polveri fini (PM2,5), monossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO2), ossidi di azoto totali (NOx) e benzene

Per la stima di ricaduta delle polveri sottili (PM10) è stato ipotizzato un diametro aerodinamico avente media geometrica di 0,48 μm , per le polveri fini (PM2,5) un diametro aerodinamico di 0,2 μm ; entrambi sono valori scientificamente accettabili per la rappresentazione di tali classi di particolato.

Da segnalare che sono stati simulati quegli inquinanti che avessero una concentrazione alla sorgente già di per se stessa significativa; per gli altri è stata considerata trascurabile la concentrazione alla sorgente e di conseguenza la ricaduta al suolo non è stata simulata.

Monossido di carbonio

La normativa (Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002, così come ripreso dal D.Lgs. 155/10) prevede i seguenti limiti di legge per quanto riguarda il monossido di carbonio:

Monossido di carbonio			
Media massima giornaliera calcolata su 8 ore (2)	10 mg/ m ³		— (1)

CO (massimo della media 8 h)	SDF $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SDP	Δ	% VL del Δ
Recettore peggiore	22.83 (R10)	46.28 (R5)	23.45	0.23%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	8.08 (R13)	7.5 (R13)	-0.58	-0.0058%

I valori di monossido di carbonio risultano sia nella situazione ante-operam che post-operam ampiamente al di sotto del limite previsto. Per quanto riguarda l'asse principale, i nuovi recettori considerati per l'opera in progetto non risultano interessati da impatti significativi. I recettori che interessano l'asse secondario subiscono invece un lieve miglioramento. Seppur non incluso nel modello occorre comunque evidenziare come l'intervento comporti un miglioramento per i recettori collocati nei centri abitati più a sud che ad oggi sono interessati da un traffico significativo e che a seguito della realizzazione del progetto verranno sgravati.

Ossidi di azoto

La normativa (Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002, così come ripreso dal D.Lgs. 155/10) prevede i seguenti limiti di legge per quanto riguarda gli ossidi di azoto:

Biossido di azoto *			
I ora	200 µg/m ³ , da non superare più di 18 volte per anno civile	50 % il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0 % entro il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
Anno civile	40 µg/m ³	50 % il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0 % entro il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010

Livelli critici per la protezione della vegetazione

Ossidi di azoto			
	30 µg/m ³ NOx		Nessuno

(NO2) Media annua	SDF µg/m ³	SDP µg/m ³	Δ	% VL del Δ
Recettore peggiore	1.089 (R10)	1.29 (R10)	0.201	0.5%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	0.37 (R13)	0.35 (R13)	-0.02	-0.05%

(NO2) 99.8° media oraria	SDF µg/m ³	SDP µg/m ³	Δ	% VL del Δ
Recettore peggiore	14.5 (R10)	23.6 (R5)	9.1	4.6%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	4.03 (R13)	3.91 (R13)	-0.12	-0.06%

(NOX) Media annua	SDF µg/m ³	SDP µg/m ³	Δ	% VL del Δ
Recettore peggiore	5.9 (R10)	7.06 (R10)	1.16	3.9%
Recettore eco sistemico (R14)	1.81 (R14)	1.71 (R14)	-0.1	-0.33%

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto i valori sia in fase pre che post operam rientrano ampiamente nei limiti di legge e gli incrementi sui valori massimi risultano trascurabili. Nel recettore sensibile a Rione Borgato si osserva un lieve miglioramento. I valori per gli NOx valutati al recettore Torrente Ermena (eco sistemico) seppur non rientrante nel SIC, risultano anch'essi in lieve miglioramento. Si sottolinea comunque come a fronte di un coinvolgimento di

alcuni nuovi recettori, risultano sgravati i centri abitati a sud dell'area considerata nel modello e ad oggi interessata da un flusso veicolare intenso.

Polveri fini

La normativa (Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002, così come ripreso dal D.Lgs. 155/10) prevede i seguenti limiti di legge per quanto riguarda le polveri fini:

PM2,5			
FASE I			
Anno civile	25 µg/m ³	20% l'11 giugno 2008, con riduzione il 1° gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0 % entro il 1° gennaio 2015	1° gennaio 2015

PM 2.5 (media annua)	SDF µg/m ³	SDP µg/m ³	Δ	% VL del Δ
Recettore peggiore	0.24 (R10)	0.28 (R10)	0.04	0.16%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	0.09 (R13)	0.085 (R13)	-0.005	-0.02%

I valori di polveri fini risultano del tutto contenuti e al di sotto dei limiti di legge. Gli incrementi dovuti al progetto possono ritenersi trascurabili.

Polveri sottili

La normativa (Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002, così come ripreso dal D.Lgs. 155/10) prevede i seguenti limiti di legge per quanto riguarda le polveri sottili:

PM10 **			
1 giorno	50 µg/m ³ , da non superare più di 35 volte per anno civile	50 % il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante	— (1)
Anno civile	40 µg/m ³	fino a raggiungere lo 0 % entro il 1° gennaio 2005 20 % il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0 % entro il 1° gennaio 2005	— (1)

PM10 (valore medio annuo)	SDF µg/m3	SDP µg/m3	Δ	% su VL del Δ
Recettore peggiore	0.33 (R10)	0.39 (R10)	0.06	0.15%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	0.13 (R13)	0.12 (R13)	-0.01	-0.025%

PM10 (90.4° percentile media 24h)	SDF µg/m3	SDP µg/m3	Δ	% su VL del Δ
Recettore peggiore	0.55 (R10)	0.67 (R10)	0.12	0.24%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	0.22 (R13)	0.21 (R13)	-0.01	-0.02%

Per quanto riguarda le polveri gli impatti risultano assolutamente trascurabili ai recettori e si osserva comunque un lieve miglioramento al ricettore sensibile di Rione Borgato. I recettori interessati dalla nuova opera non subiscono incrementi significativi nella concentrazione di polveri a fronte di un importante miglioramento nella situazione di traffico nella zona più a sud rispetto alla zona di progetto e interessata da diversi nuclei urbani.

Benzene

La normativa (Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002) prevede i seguenti limiti di legge per quanto riguarda il benzene:

	Periodo di mediazione	Valore Limite	Margine di tolleranza	Data di raggiungimento del valore limite
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	5 µg/m ³	5 µg/m ³ . Tale valore verrà ridotto il 01/01/2006 e successivamente ogni 12 mesi per raggiungere il valore limite al 01/01/2010	01/01/2010

Benzene (media annua)	SDF µg/m3	SDP µg/m3	Δ	% su VL del Δ
Recettore peggiore	0.024	0.028	0.004	0.08%
Recettore sensibile (Rione Borgato)	0.01 (R13)	0.0098 (R139)	-0.0002	-0.004%

Anche per il Benzene i valori ai recettori risultano ampiamente sotto i limiti di legge sia per lo stato di fatto che di progetto (post-operam).

12 Confronto opzione zero/post operam

La valutazione a grande scala degli effetti dell'opera sul traffico attuale è stata effettuata con l'ausilio di strumenti GIS. Per effettuare questa valutazione, sono stati identificati i recettori civili nell'area di interesse (in viola nella figura sotto). Successivamente a ciascun recettore è stata associato il traffico veicolare della strada più prossima (entro una fascia di 250 m) sia per lo scenario zero (al 2025) che post operam (al 2025). Per entrambi gli scenari i recettori sono stati suddivisi in categorie a seconda del carico di traffico della strada a loro più prossima. In questo modo è stato possibile costruire l'istogramma di frequenza dei recettori caratterizzati da una diversa classe di traffico veicolare e quindi da un diverso carico di inquinamento ad esso associato.

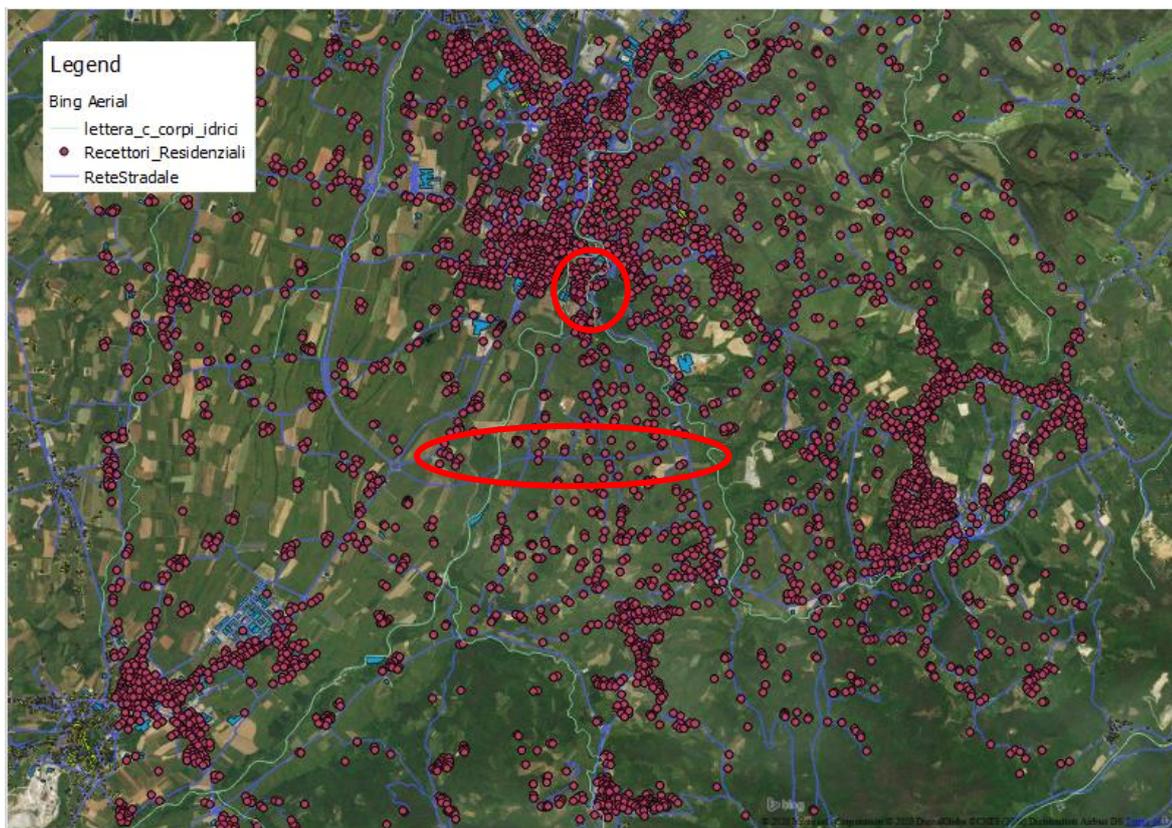


Figura 12.1 – Recettori residenziali considerati nell'area di interesse

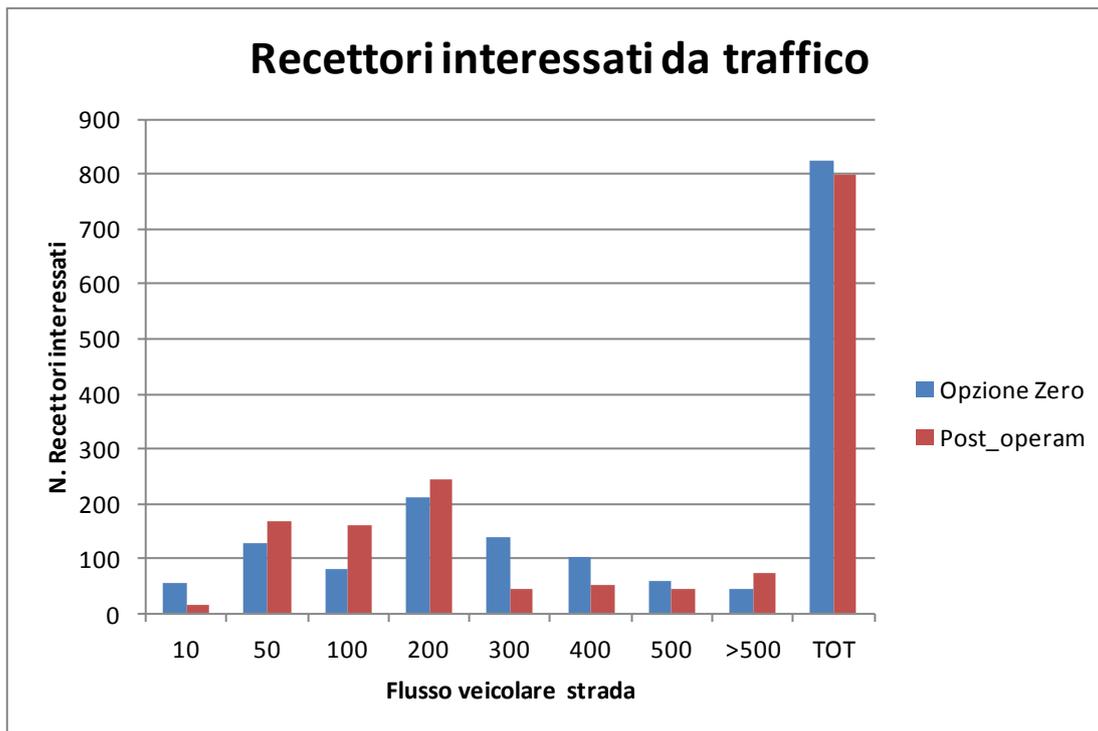


Figura 12.2 – Istogramma di frequenza dei recettori in funzione delle classi di flusso veicolare della strada più prossima

Si osserva come nello scenario post-operam, diminuisca il numero dei recettori localizzati in prossimità di strade con flussi > 300 veicoli/h nell'ora di punta e aumenti quello dei recettori interessati da minor carico veicolare, oltre che diminuire in generale il numero dei recettori coinvolti nel traffico stradale, seppur di poco. L'opera quindi risulta avere un impatto positivo in generale sulla matrice atmosfera, sgravando i centri abitati a sud dell'opera stessa dall'attuale traffico stradale, con conseguente miglioramento della qualità dell'aria.

Nella Figura seguente si riporta il confronto tra opzione zero e post-operam in termini emissivi. In particolare l'area di interesse è stata suddivisa in riquadri (1 Km x 1 Km) e per ciascuno di essi è stata calcolata la somma del prodotto tra numero veicoli (nell'ora di punta) e lunghezza del tracciato di ciascuna strada ricadente nell'area stessa. Il valore che si ottiene poi moltiplicato per il fattore emissivo (g/km*veic) di ciascun inquinante, fornisce l'emissione complessiva. Si osserva come alcuni dei centri abitati a sud e ad est di Mondovì risultino sgravati dalla nuova opera per quanto riguarda il traffico veicolare.

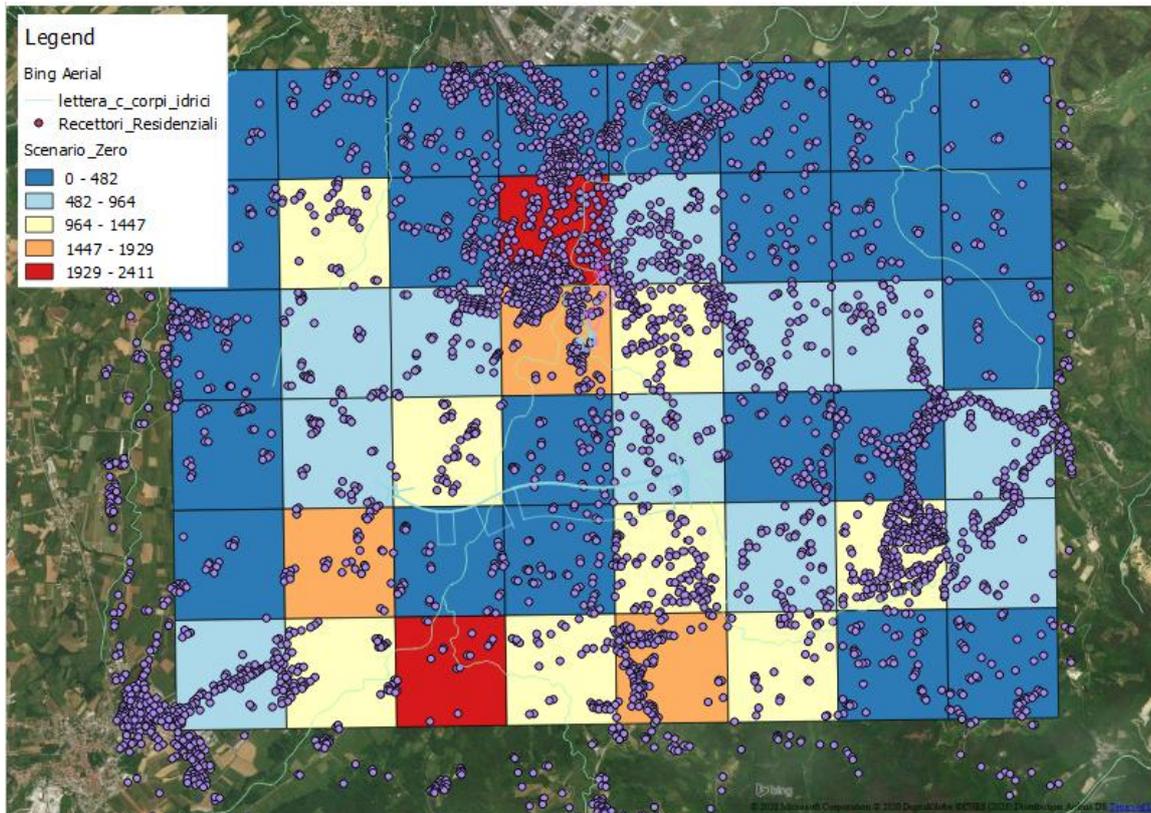


Figura 12.3 – OPZIONE ZERO - Prodotto tra numero veicoli transitanti (ora di punta) e lunghezza della rete per ciascun riquadro

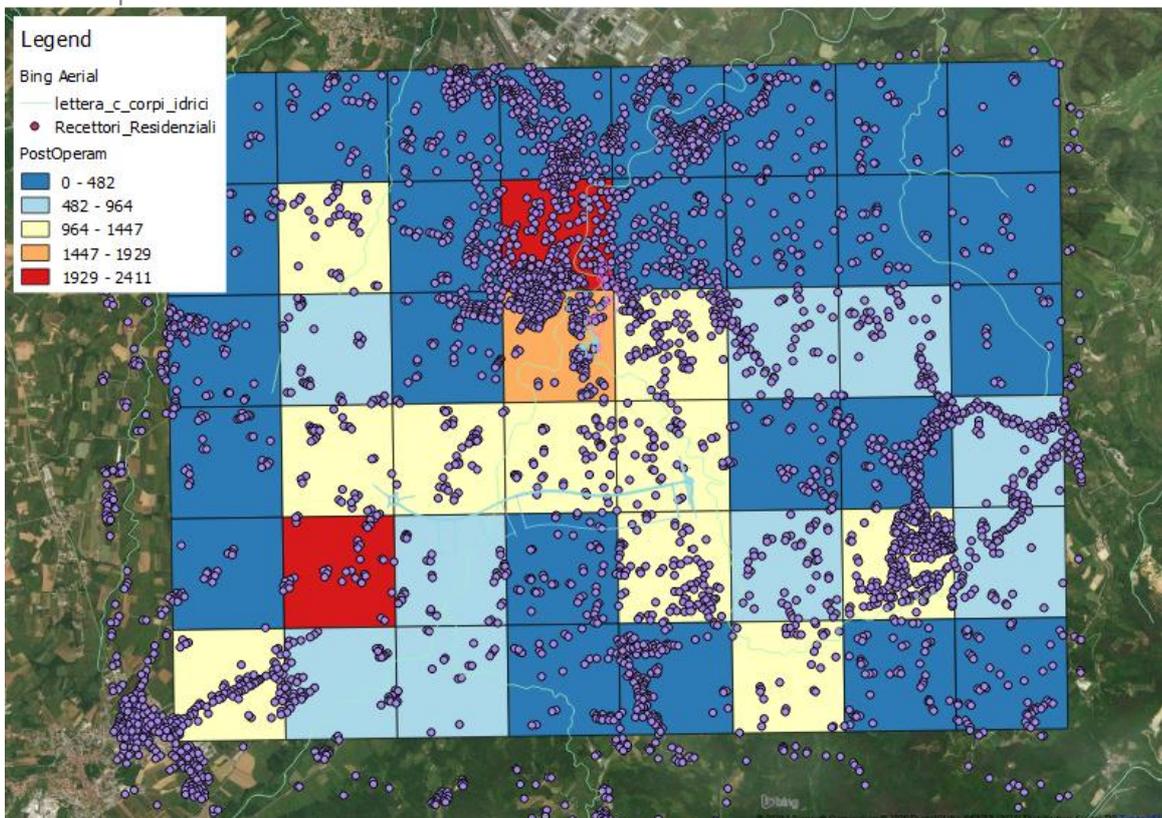


Figura 12.4 – POST OPERAM - Prodotto tra numero veicoli transitanti (ora di punta) e lunghezza della rete per ciascun riquadro

13 Mitigazioni

La sostenibilità di un progetto stradale può essere definita come tridimensionale (sociale, economica e ambientale). La sostenibilità a larga scala di una singola opera stradale è inserita in una più vasta e superiore strategia. Una volta che la scelta strategica è stata effettuata, le mitigazioni ambientali rappresentano uno strumento utile per ridurre gli impatti. I possibili effetti consistono principalmente nella frammentazione del territorio oltre che avere un effetto localizzato sulla comunità coinvolta

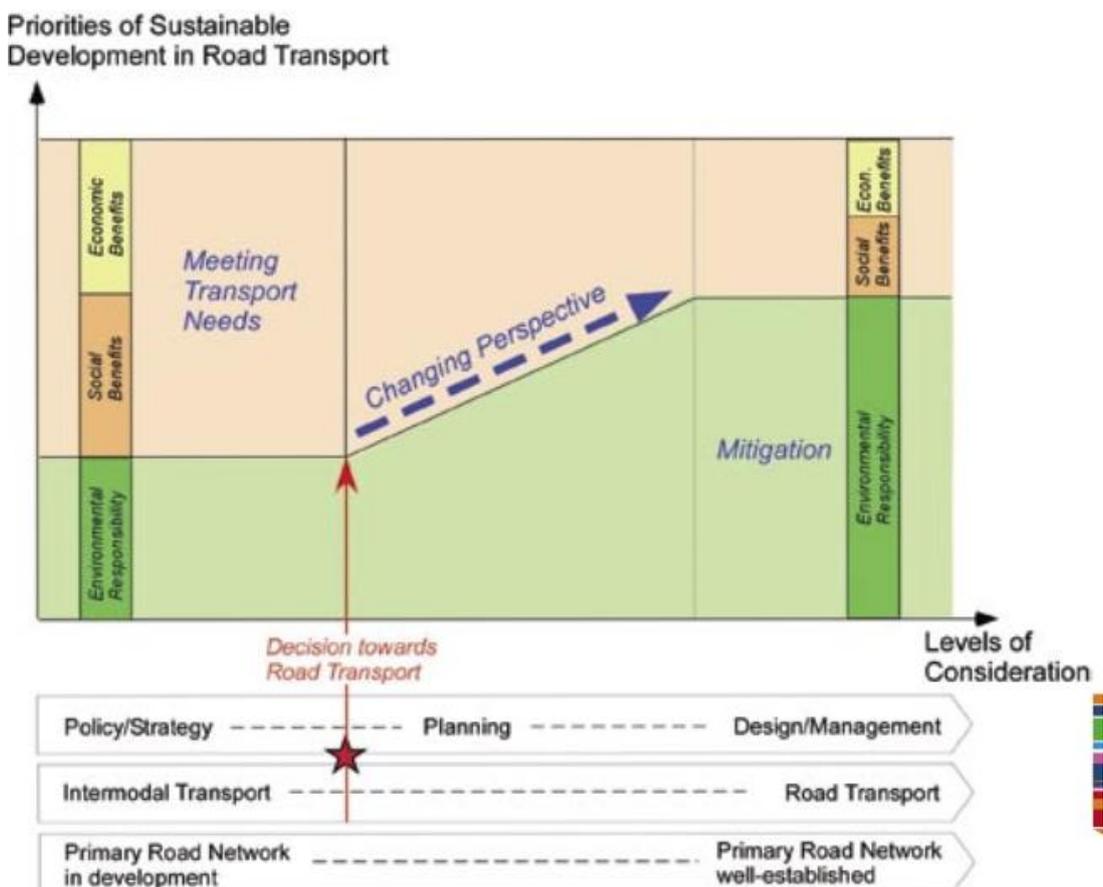


Figura 13.1 – Sostenibilità e mitigazioni (PIARC)

Uno strumento efficace per valutare la sostenibilità di un'opera stradale consiste nel monitoraggio degli inquinanti nelle matrici ambientali, tra cui l'atmosfera, sia in fase di cantiere che post-operam. Inoltre l'introduzione agli imbocchi della galleria di un sistema efficace del controllo della velocità rappresenta un sistema utile per ridurre i livelli di inquinamento atmosferico nei recettori più prossimi.

La polvere è il principale problema che si riscontra in fase di cantiere. I principali accorgimenti da adottare per limitarne gli impatti consistono nella bagnatura delle strade non asfaltate, nel coprire il carico dei mezzi che trasportano materiale pulverulento, nel lavaggio ruote e nel porre la massima attenzione nella fase del carico/scarico, per esempio scegliendo dei luoghi lontani dai recettori o da aree sensibili. Il monitoraggio in questa fase risulta fondamentale per la verifica della corretta applicazione dei suddetti presidi.

14 Confronto tra le varie alternative di tracciato

L'analisi geologica effettuata ha evidenziato come il tracciato del progetto preliminare andasse ad interferire con le frane presenti, andando a gravare su aree potenzialmente instabili.

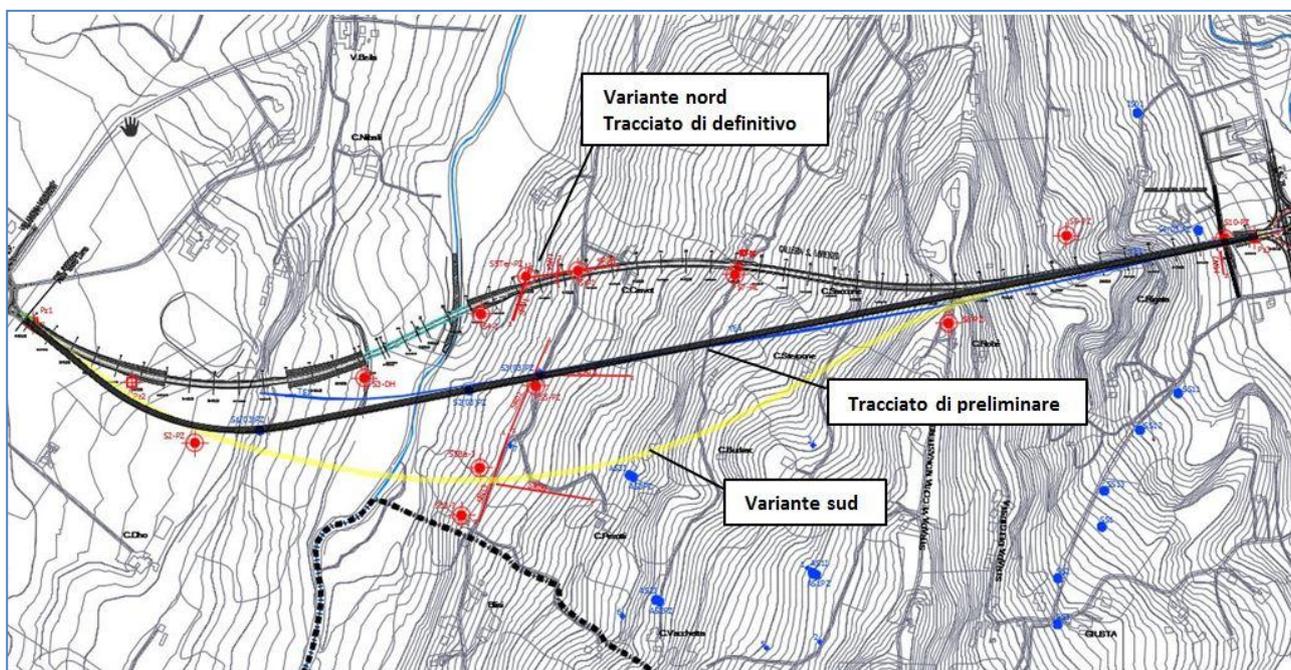


Figura 14.1 Varianti di tracciato studiate in sede di progettazione definitiva. Alla soluzione di preliminare è stata preferita la variante nord in quanto ritenuta migliorativa dal punto di vista stratigrafico e geomorfologico. In rosso sono riportate le indagini di progetto definitivo ed in blu quelle pregresse

Tra le due varianti proposte (nord e sud) quella nord risulta senz'altro la migliore per i seguenti motivi:

- L'opzione di tracciato a sud interferisce planimetricamente con una frana potenzialmente attiva segnalata da molta documentazione bibliografica, mentre il tracciato più a nord non interferisce con perimetrazioni note.
- Nell'opzione nord il tracciato in galleria è più breve, diminuendo quindi l'impatto della ventilazione della stessa ai recettori in prossimità degli imbocchi, oltre che ridurre l'impatto in fase di cantiere legato alla movimentazione dello smarino.

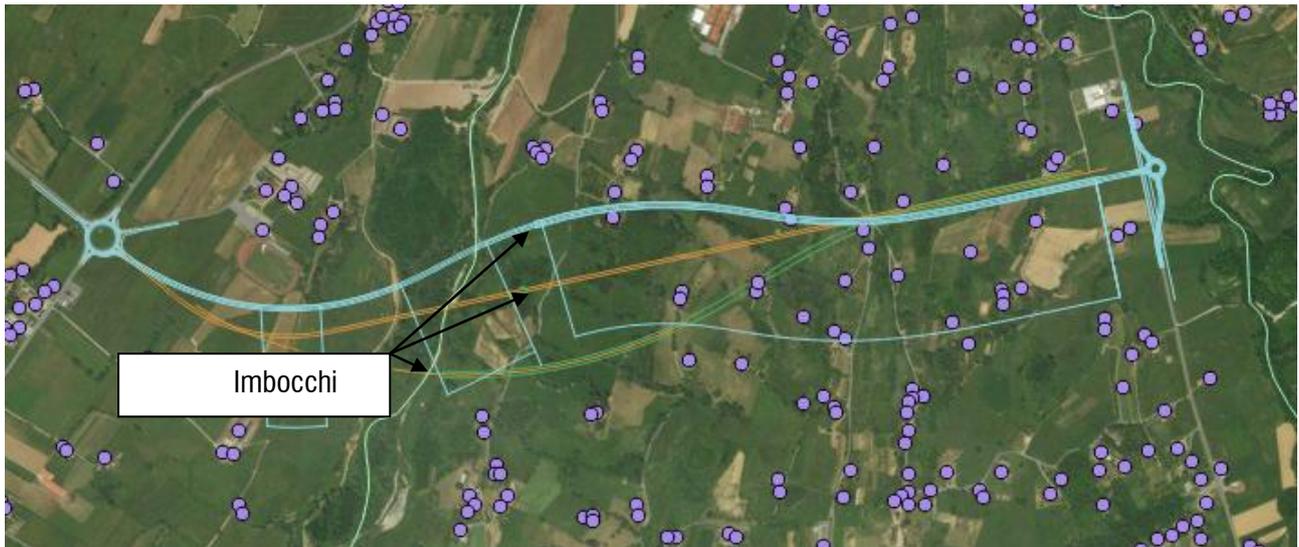


Figura 14.2 Alternative

Per quanto riguarda l'asse secondario le alternative di progetto risultano comparabili da un punto di vista delle emissioni in atmosfera.

15 Indicazioni per il monitoraggio ambientale

Asse principale

Prima dell'inizio della fase di cantierizzazione dovranno essere previste delle campagne di monitoraggio di polveri, ossidi di azoto, ozono, monossido di carbonio, Btex, IPA e metalli in corrispondenza dei recettori interessati dall'asse principale denominati come REC 10, REC 3, REC 5.

Tali analisi dovranno essere poi ripetute a cadenza trimestrale dopo l'entrata in esercizio dell'opera per la durata di un anno complessivo. In concomitanza del periodo di osservazione dovranno essere raccolti dati relativi alle condizioni meteo locali e alle condizioni di traffico presenti (anche in relazione alla tipologia di mezzi transitanti).

E' opportuno che ciascuna campagna di monitoraggio degli inquinanti presenti una durata di 14 giorni, al fine di cogliere eventuali variazioni sia giornaliere che orarie. E' inoltre opportuno che le campagne vengano svolte in condizioni di traffico rappresentative per cui evitando i giorni di festività oppure in concomitanza di eventi particolari. E' inoltre indicato che almeno un monitoraggio venga effettuato nella stagione invernale, con le condizioni meteo più sfavorevoli per la dispersione degli inquinanti.

Per la fase di cantiere dovranno essere previste a cadenza semestrale le analisi delle polveri (PM10 e PM2.5) in corrispondenza dei suddetti recettori per valutare l'efficacia dei presidi adottati.

Per garantire uno svolgimento qualitativamente omogeneo delle misure e la ripetibilità delle stesse è necessario che le misure vengano svolte con appropriate metodiche. I campionamenti dovranno essere eseguiti secondo il D.lgs. 155/2010. La campagna di monitoraggio sarà svolta mediante l'utilizzo di campionatore gravimetrico, utilizzato da tecnici competenti. In particolare il campionamento del PM10 e degli IPA può essere realizzato con un'alinea di prelievo sequenziale che utilizza filtri con diametro sufficientemente ampio e cicli di prelievo da 24 ore.

Le determinazioni analitiche sui campioni prelevati saranno effettuate al termine del ciclo di campionamento mediante determinazione gravimetrica ("metodo UNI EN 12341:1999") e cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC "metodo UNI EN 15549:2008"). Per i metalli le determinazioni analitiche verranno effettuate su filtri esposti in nitrato di cellulosa mediante spettrofotometria di emissione con plasma ad accoppiamento induttivo (ICP-Ottico) e spettrofotometria di assorbimento atomico con fornello a grafite "metodo UNI EN 14902:2005".

Nel caso in cui i risultati del monitoraggio evidenziassero un incremento nella concentrazione degli inquinanti (sempre rapportati ai limiti normativi previsto dal D.lgs. 155/2010) nelle fasi CO e PO, superiore rispetto a quanto previsto nella valutazione dello SIA, dovrà essere subito data segnalazione agli Organi di controllo nonché alla Ditta appaltatrice se in CO, al fine di condurre verifiche sull'efficienza dei sistemi messi in atto per l'abbattimento delle emissioni.

La caratterizzazione dal punto di vista meteorologico dovrà essere effettuata tramite raccolta dei dati di una centralina meteo posta in prossimità dell'opera in oggetto. I parametri da rilevare sono:

- Temperatura, umidità, direzione e velocità del vento a scala oraria
- Precipitazione ed evaporazione su scala giornaliera

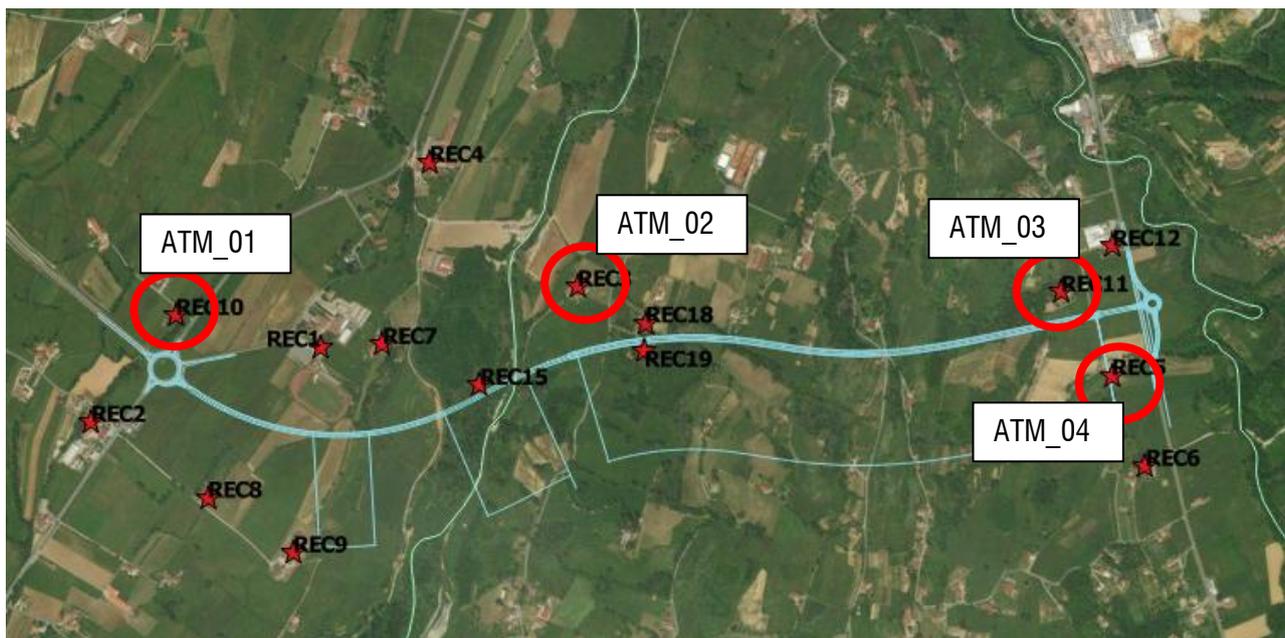


Figura 15.1 Punti di monitoraggio asse principale

Asse secondario

Per quanto riguarda l'asse secondario le analisi in fase ante operam, di cantiere ed esercizio potranno essere effettuate in corrispondenza dei due recettori civili più prossimi, come indicato nella Figura seguente. Le metodologie e la frequenza sono le medesime individuate per l'asse principale.

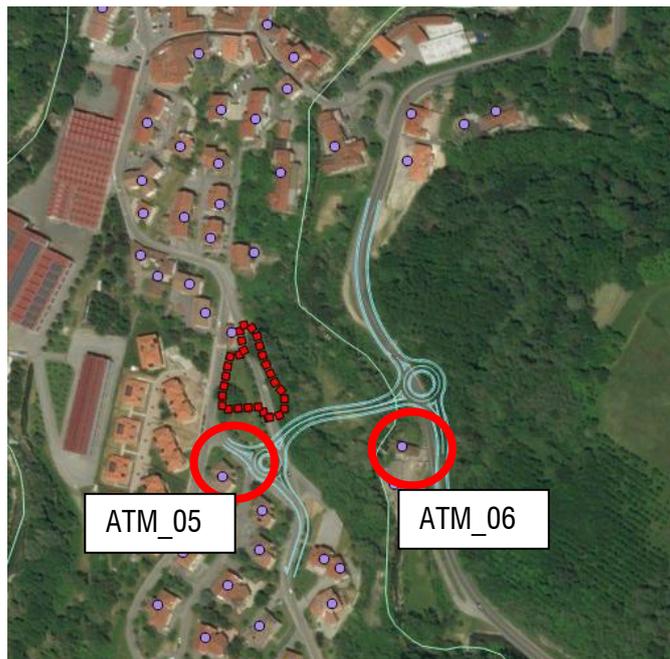


Figura 15.2 Punti di monitoraggio asse secondario

16 Bibliografia

Biancotti, G. Bellardone, S. Bovo, B. Cagnazzi, L. Giacomelli, C. Marchisio – 1998 - DISTRIBUZIONE REGIONALE DI PIOGGE E TEMPERATURE (ARPA PIEMONTE)

S. Fratianni, B.Cagnazzi, R. Cremonini – 2007 - IL VENTO IN PIEMONTE (ARPA Piemonte)

PIARC – 2019 – Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation (Technical Committee D.5 Road Tunnels)

PIARC 2012 – Monitoring of Environmental impacts of road (PIARC Technical Committee A.1. Preserving the Environmental)

Scire JS (2000) A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model

Scire JS Robe FR, Fernau M.E., Yamartino R.J. (2000) A User's Guide for the CALMET Meteorological Model