

AUTOSTRADA (A1) : MILANO - NAPOLI

TRATTO: FIRENZE NORD - FIRENZE SUD

SVINCOLO DI SCANDICCI

ALLACCIAMENTO A1 - S.G.C. FI-PI-LI - VIABILITA' URBANA

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

PARTE GENERALE

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

INTEGRAZIONE COMPONENTE ATMOSFERA

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Sara Frisiani
Ord. Ingg. Genova n.9810A
RESPONSABILE STUDI AMBIENTALI

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Michele Angelo Parrella
Ord. Ingg. Avellino N. 933

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Sara Frisiani
Ord. Ingg. Genova N. 9810A
TECHNICAL AUTHORITY AMBIENTE

CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	-
119982	0000	PD	DG	GEN	00000	00000	R	AMB	0002	- 0	SCALA -

	ENGINEER COORDINATOR:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Michele Angelo Parrella Ord. Ingg. Avellino N. 933						n.	data
							0	LUGLIO 2023
							1	-
							2	-
REDATTO:		VERIFICATO:				3	-	
						4	-	

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Stefano Capocasa

VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

INDICE

1	INQUADRAMENTO TEMATICO	3
2	ANALISI METEO-CLIMATICA	6
2.1	ANALISI GENERALI	6
2.2	IL DATO STORICO: ANDAMENTO 1971 – 2000	6
2.3	IL DATO ATTUALE: BOLLETTINO METAR ANNO 2020	22
2.4	IL CONFRONTO TRA IL DATO STORICO E L'ANNO DI RIFERIMENTO DELLE SIMULAZIONI	26
2.5	ANALISI EMISSIVA	32
3	ANALISI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	40
3.1	INQUADRAMENTO PIANIFICATORIO	40
3.2	LA RETE DI MONITORAGGIO E LA CENTRALINA DI RIFERIMENTO	44
3.3	ANALISI DEGLI INQUINANTI MONITORATI	47
4	I MODELLI DI SIMULAZIONE	62
4.1	COPERT 5	62
4.2	COPERT STREET LEVEL	63
4.3	CALROADS	64
4.4	AERMOD VIEW	65
5	L'ANALISI MODELLISTICA DELLO SCENARIO ATTUALE	69
5.1	L'ANALISI EMISSIVA	69
5.2	L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI	76
6	L'ANALISI MODELLISTICA DELLO SCENARIO DI PROGETTO	89
6.1	L'ANALISI EMISSIVA	89
6.2	L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI	96
7	CONFRONTO TRA SCENARIO ANTE E POST OPERAM	103
7.1	L'ANALISI EMISSIVA	103
7.2	L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI	103
7.3	CONCLUSIONI DELL'ANALISI	104
8	L'ANALISI MODELLISTICA DELLA FASE DI CANTIERE	105
8.1	PREMESSA	105
8.2	GLI INPUT DEL SOFTWARE AERMOD VIEW	105
8.3	I DATI DI OUTPUT	116
8.4	BEST PRACTICE PER IL CANTIERE	117

1 INQUADRAMENTO TEMATICO

Il presente studio atmosferico si inserisce nell'ambito del progetto per il potenziamento dell'allacciamento dello svincolo A1 di Firenze Scandicci alla S.G.C. FI-PI-LI e alla viabilità ordinaria locale ed ha come scopo quello di stimare le emissioni e concentrazioni di inquinanti generate dall'esercizio e della realizzazione del nuovo progetto in esame.

In particolare, l'obiettivo del presente documento è quello di valutare le modificazioni della qualità dell'aria sul territorio in esame, stimando le emissioni e concentrazioni degli inquinanti in atmosfera prodotte dalle attività di cantiere e dal traffico veicolare circolante sulla rete stradale di riferimento. Ciò che si vuole andare ad analizzare, pertanto, è l'incidenza del progetto in esame sulla qualità dell'aria attuale, in modo da evidenziarne i benefici e/o gli aggravii, sia in corrispondenza dei recettori puntuali, sia sul territorio di area vasta.

La metodologia utilizzata per la stima delle concentrazioni degli inquinanti ha visto, in primo luogo, l'analisi delle condizioni meteo climatiche dell'area interessata dall'intervento, nonché dello stato emissivo e diffusivo degli inquinanti di interesse.

Per quanto riguarda l'inquadramento meteo climatico dell'area, è stato effettuato un confronto tra serie storiche e dato attuale, in modo da poter paragonare gli ultimi dati disponibili con il trend storico dei vari parametri. Da un punto di vista storico, si è fatto riferimento ai dati forniti dall'Aeronautica Militare relativi alla stazione di Firenze Peretola, considerando l'arco temporale di un trentennio, dal 1971 al 2000. Quali parametri assunti per la caratterizzazione dell'area territoriale sono stati considerati i principali parametri meteorologici che influenzano il clima, e conseguentemente la diffusione degli inquinanti nell'atmosfera, tra cui la temperatura, le precipitazioni e il vento. Medesimo studio è stato svolto con i dati meteo-climatici relativi all'anno 2020, prendendo come riferimento la stessa centralina meteo, considerata rappresentativa delle condizioni climatiche circostanti l'area in esame.

Per analizzare lo stato attuale delle emissioni, invece, si è fatto riferimento alla banca dati IRSE (Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente) dalla quale è stato possibile ricavare i valori emissivi, suddivisi per macro – settore, rappresentativi della sorgente inquinante, e riferiti alla Regione Toscana e alla provincia di Firenze.

Al fine di uno studio conoscitivo sulla qualità dell'aria della zona di intervento, dopo un excursus dei principali strumenti di pianificazione settoriale, sono stati analizzati i dati dei monitoraggi forniti da ARPA Toscana, rispetto agli inquinanti di interesse, di seguito elencati:

- Ossido di azoto (NO_x);
- Biossido di azoto (NO₂);
- Particolato PM₁₀;
- Particolato PM_{2.5};
- Benzene (C₆H₆).

A valle di una prima analisi delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti in prossimità dell'area di intervento, sono state individuate come centraline di riferimento, quelle più vicine e significative in termini di tipologia e che, allo stesso tempo, garantissero di avere informazioni su tutti gli inquinanti considerati nel presente studio. Pertanto, si è fatto riferimento a:

- la stazione di Firenze-Scandicci, di "fondo urbano" che ha consentito l'individuazione dei livelli di concentrazione di NO_x , NO_2 , PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$;
- la stazione di Firenze-Bassi, classificata anch'essa come "fondo urbano" che ha permesso di avere informazioni sul C_6H_6 .

Una volta concluse le analisi conoscitive, si è proceduto all'applicazione dei modelli di simulazione, grazie ai quali è stato possibile stimare le emissioni e le concentrazioni di inquinanti con riferimento a due differenti scenari di traffico veicolare: lo scenario attuale e lo scenario di progetto al 2036.

Per tutti e due gli scenari è stata considerata la medesima rete stradale (con l'aggiunta dell'infrastruttura in progetto nello scenario post operam) come individuata dallo studio trasportistico. Per ogni scenario, in primo luogo, attraverso il modello di calcolo Copert street level sono state stimate le emissioni sulla rete stradale per poi procedere con la stima delle concentrazioni. Per quest'ultima analisi, attraverso l'utilizzo del software Copert 5, sono stati calcolati i fattori di emissione sugli archi della rete stradale, che sono funzione del parco veicolare circolante e della velocità media percorsa considerata. Implementando, quindi, tutti gli input necessari (meteo, traffico, velocità, fattori di emissione, ecc.) all'interno del software di simulazione Calroads è stato possibile stimare i valori di concentrazione degli inquinanti di interesse.

Confrontando i risultati delle analisi condotte per lo scenario post operam e attuale, è emerso per tutti gli inquinanti un beneficio del progetto sia in termini emissivi che di livelli di concentrazione in prossimità dei recettori individuati, stante la differente distribuzione del traffico prevista, nonché il miglioramento tecnologico del parco veicolare futuro.

Per quanto riguarda la valutazione delle concentrazioni di inquinanti nell'atmosfera durante la fase di cantiere, invece, è stato utilizzato il software di simulazione modellistica Aermod View attraverso il quale è stato possibile ricreare gli scenari di cantieri ritenuti più critici (Worst case scenario) e stimare le concentrazioni polverulente di PM_{10} e di $\text{PM}_{2.5}$ generate dalle lavorazioni.

In particolare, è stato considerato un unico scenario critico, caratterizzato da due tipologie di cantiere: l'area di lavorazione AL01, in cui è prevista la movimentazione di materiale polverulento in seguito alla realizzazione del corpo stradale, e le aree destinate allo stoccaggio dei materiali all'interno del cantiere base e di quello operativo (cantieri fissi), in cui, oltre al carico e allo scarico del materiale inerte, si aggiunge l'erosione del vento sui cumuli stoccati. Pertanto, sono state definite le sorgenti areali da modellare all'interno del software di simulazione e sono stati stimati i fattori di emissione relativi alla singola attività prevista con riferimento al Draft EPA dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente Statunitense. Alla luce di tali input progettuali, nonché degli input territoriali relativi all'orografia ed alle condizioni meteorologiche di riferimento, è stato possibile

stimare le concentrazioni di PM₁₀ e PM_{2.5} e confrontarle con le soglie limite definite dalla normativa.

Dai risultati ottenuti è emerso come sia in termini di PM₁₀ che di PM_{2.5} non si riscontrano criticità in fase di cantiere, in quanto anche in prossimità dei recettori più vicini alle aree di lavorazione, i valori rientrano nei limiti normativi anche con l'aggiunta del contributo di fondo.

Di seguito si riporta l'elenco degli elaborati allegati al presente studio atmosferico:

Nome	Titolo	Scala
Tavola 1	Planimetria delle emissioni - Scenario attuale	1:20000
Tavola 2	Planimetria delle emissioni - Scenario di progetto	1:20000
Tavola 3	Planimetria delle concentrazioni - Scenario attuale-NO2	1:10000
Tavola 4	Planimetria delle concentrazioni - Scenario attuale-C6H6	1:10000
Tavola 5	Planimetria delle concentrazioni - Scenario attuale-PM10	1:10000
Tavola 6	Planimetria delle concentrazioni - Scenario attuale-PM2.5	1:10000
Tavola 7	Planimetria delle concentrazioni - Scenario di progetto-NO2	1:10000
Tavola 8	Planimetria delle concentrazioni - Scenario di progetto-C6H6	1:10000
Tavola 9	Planimetria delle concentrazioni - Scenario di progetto-PM10	1:10000
Tavola 10	Planimetria delle concentrazioni - Scenario di progetto-PM2.5	1:10000
Tavola 11	Planimetria delle concentrazioni - Corso d'opera-PM10 Massimi giornalieri	1:5000
Tavola 12	Planimetria delle concentrazioni - Corso d'opera-PM10 Medie annue	1:5000
Tavola 13	Planimetria delle concentrazioni - Corso d'opera-PM2.5 Medie annue	1:5000

Tabella 1-1 Elenco elaborati grafici, allegati al presente studio

Nel proseguo della trattazione sono riportate nel dettaglio le analisi atmosferiche, sopra sintetizzate.

2 ANALISI METEO-CLIMATICA

2.1 ANALISI GENERALI

Il presente paragrafo è volto all'analisi meteo-climatica dell'area di studio. Tale analisi è strutturata al fine di perseguire una finalità costituita da due fasi consequenziali: in primis occorre analizzare dal punto di vista "storico" il contesto di intervento, definendo in un arco temporale ampio le condizioni climatiche che hanno caratterizzato l'area interessata dall'iniziativa progettuale in esame, secondariamente occorre analizzare il dato meteorologico di riferimento per le simulazioni modellistiche dell'area di intervento al fine di verificarne la coerenza con il dato storico.

In questo modo sarà possibile validare il dato utilizzato e verificare che le simulazioni effettuate non facciano riferimento ad outliers meteorologici che potrebbero inficiare l'intero processo di analisi.

La presente trattazione pertanto sarà divisa in due parti principali: "il dato storico" che descrive l'analisi nell'arco temporale di riferimento 1971 – 2000 e l'analisi dei "dati di simulazione" corrispondenti all'anno 2020.

2.2 IL DATO STORICO: ANDAMENTO 1971 – 2000

L'analisi meteorologica dell'area di intervento è stata effettuata sulla base dei dati presenti nell'Atlante Climatico dell'Aeronautica Militare che raccoglie i dati relativi ad un arco temporale di un trentennio, permettendo così la ricostruzione, in termini medi, dell'andamento meteo climatico.

L'Atlante è gestito dall'Aeronautica Militare e risulta coerente con quanto espresso dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) dove il clima è definito come lo stato medio delle variabili fisiche atmosferiche, con riferimento ad uno specifico periodo temporale e ad un'area circoscritta. Nei paragrafi successivi verranno analizzati separatamente diversi indicatori climatici appartenenti a tre categorie: Temperature, Precipitazioni e Venti. Per comprendere e rendere facilmente leggibili tali indicatori, di seguito si riportano le legende. Con specifico riferimento alle temperature, gli indicatori analizzati sono riportati in Tabella 2-1.

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

Simbolo	Descrizione	U.M.
P99x (P99n)	99° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
P85x (P85n)	85° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
P15x (P15n)	15° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
P1x (P1n)	1° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
NgTn<=0	N° giorni con Tn (temperatura minima) <= 0 °C	(conteggio)
NgTn<=-5	N° giorni con Tn (temperatura minima) <= -5 °C	(conteggio)
NgTx>=25	N° giorni con Tx (temperatura massima) >= 25 °C	(conteggio)
NgTx>=30	N° giorni con Tx (temperatura massima) >= 30 °C	(conteggio)
GrGi>0	Gradi-giorno (Somme (Tm-S) solo se (Tm-S) > 0°), dove S = 0°C	°C
GrGi>5	Gradi-giorno (Somme (Tm-S) solo se (Tm-S) > 0°), dove S = 5°C	°C
GrGi_18	Gradi-giorno (Somme (S-Tm) solo se (S-Tm) > 0°), dove S = 18°C	°C
Txx	Temperatura massima assoluta	°C
An Txx	Anno in cui si è verificata Txx	
Tnn	Temperatura minima assoluta	°C
An Tnn	Anno in cui si è verificata Tnn	

Tabella 2-1 Indicatori della Temperatura (Fonte: Atlante Climatico Aeronautica Militare)

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

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

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

Tabella 2-2 Indicatori delle precipitazioni (Fonte: Atlante Climatico Aeronautica Militare)

Infine, in relazione alla distribuzione dei venti è possibile fare riferimento alla Tabella 2-3.

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

Tabella 2-3 Indicatori della distribuzione dei venti (Fonte: Atlante Climatico Aeronautica Militare)

Per il rilevamento dei dati meteorologici è stata scelta la stazione meteo più vicina all'area oggetto di studio e per la quale erano disponibili i dati necessari alle analisi. Si tratta della **stazione meteorologica di Firenze Peretola**, ubicata nell'area dell'Aeroporto Amerigo Vespucci- di Firenze, che dista dall'area di studio circa 4,5 chilometri e può essere ritenuta significativa e rap-

presentativa delle condizioni meteo climatiche dell'area in esame, in quanto, come riporta il documento dell'APAT "Dati e informazioni per la caratterizzazione della componente Atmosfera e prassi corrente di utilizzo dei modelli di qualità dell'aria nell'ambito della procedura di V.I.A.", le osservazioni rilevate dalle stazioni meteo dell'Aeronautica Militare sono rappresentative di un'area di circa 70 chilometri di raggio.

La stazione meteo di riferimento è inquadrata in Figura 2-1, con le seguenti coordinate:

- Lat: 43.8086;
- Long: 11.2028.



Figura 2-1 Localizzazione della Stazione meteorologica di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci.

Regime termico

Il primo aspetto analizzato nella trattazione del dato storico riguarda il regime termico. La Tabella 2-4 riporta i dati principali circa le temperature nei tre decenni di analisi.

Mese	Tm	Tx1d	Tx2d	Tx3d	Txm	Tn1d	Tn2d	Tn3d	Tnm	TxP85-15	TnP85-15
Gen	6,5	10,4	10,8	11,6	10,9	1,8	1,6	2,4	2,0	6,8	9,6
Feb	7,5	12,6	11,9	13,0	12,5	2,4	2,6	2,7	2,5	7,3	9,2
Mar	10,3	14,1	16,0	16,8	15,7	3,8	4,6	6,1	4,9	7,8	8,4
Apr	13,0	18,0	17,9	19,7	18,5	7,5	6,6	8,2	7,5	7,9	6,6
Mag	17,7	22,0	23,8	25,2	23,7	10,4	11,9	12,5	11,6	8,4	5,8
Giu	21,4	27,2	27,2	28,8	27,7	14,4	14,8	15,9	15,0	8,0	5,6
Lug	24,6	30,7	31,2	32,3	31,4	17,1	17,9	18,1	17,7	6,4	5,0
Ago	24,6	32,7	32,2	29,6	31,5	18,5	18,0	16,8	17,7	7,8	5,1
Set	20,5	27,8	26,9	25,2	26,7	15,1	14,3	13,6	14,4	7,5	6,4
Ott	15,5	22,8	21,2	18,7	20,9	11,8	10,2	8,4	10,1	7,6	8,4
Nov	9,9	16,8	14,8	12,5	14,7	6,9	5,0	3,6	5,1	7,4	9,9
Dic	6,8	11,4	11,2	10,7	11,1	2,9	2,5	2,4	2,6	7,4	10,3

Mese	NgTn≤ 0	NgTn≤- 5	NgTx≥2 5	NgTx≥3 0	GrGi> 0	GrGi> 5	GrGi_1 8	Txx	AnT x	Tnn	AnTn
Gen	9,7	2,7	0,0	0,0	211	56	371	21,6	1995	-23,0	1985
Feb	8,2	1,0	0,0	0,0	218	74	304	23,4	1991	-9,9	1993
Mar	3,8	0,3	0,3	0,0	330	169	248	28,5	1995	-8,0	1973
Apr	0,3	0,0	1,2	0,0	383	236	148	28,7	1993	-2,2	1986
Mag	0,0	0,0	12,0	1,5	535	383	38	33,8	1979	3,6	1982
Giu	0,0	0,0	23,0	9,1	629	482	4	40,0	1990	5,6	1975
Lug	0,0	0,0	30,2	22,5	767	611	0	42,6	1983	10,2	1971
Ago	0,0	0,0	29,8	21,5	770	614	0	39,5	1974	9,6	1995
Set	0,0	0,0	20,8	6,0	614	465	11	36,4	1971	3,6	1977
Ott	0,1	0,0	4,2	0,0	470	318	88	30,8	1985	-1,4	1974
Nov	4,2	0,3	0,0	0,0	288	143	235	25,2	1984	-6,0	1983
Dic	8,8	1,5	0,0	0,0	207	59	336	20,4	1989	-8,6	1973

Tabella 2-4 Regime Termico (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

Con riferimento alla Temperatura Media registrata nei tre decenni è possibile notare come le temperature siano comprese tra 6,5 °C e 24,6 °C, rispettivamente registrate nei mesi di gennaio, luglio e agosto.

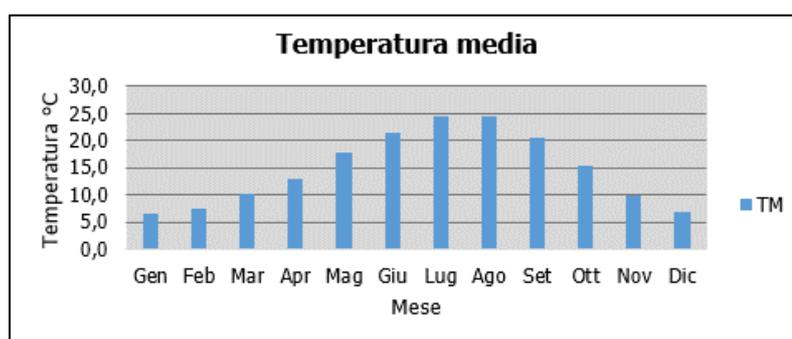


Figura 2-2 Temperatura media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Analizzando i valori massimi e minimi medi della temperatura nelle tre decadi si osserva come il trend analizzato per la temperatura media nelle tre decadi sia individuabile anche in tali valori, evidenziando come mese con temperature massime medie più elevate il mese di agosto con 31,5 °C, mentre il mese con le temperature minime medie più basse risulta gennaio con 2,0 °C.

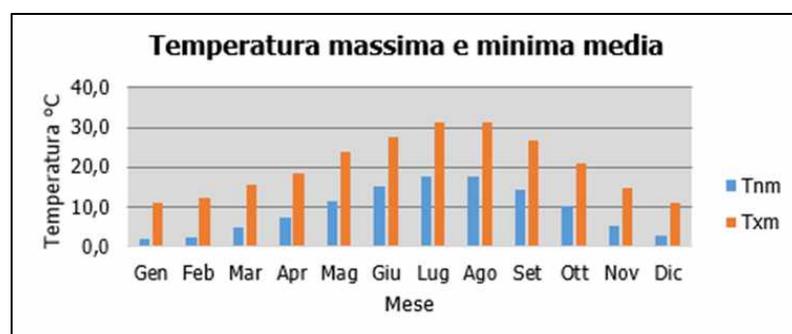


Figura 2-3 Temperatura massima e minima media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

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

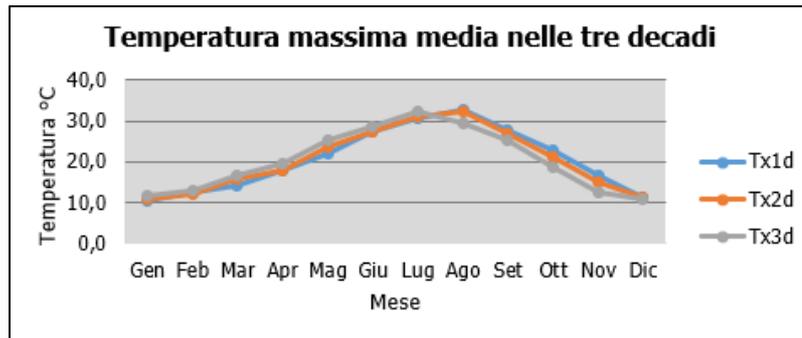


Figura 2-4 Temperatura massima media suddivisa per decadi (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Dalla Figura 2-4 si può notare nel corso dei decenni un'inversione del trend delle temperature con un anticipo delle temperature massime di circa un mese. La linea grigia, infatti, rappresentativa della terza decade, fa registrare valori più elevati delle altre due nei mesi compresi tra gennaio e luglio. Nei mesi da agosto a dicembre si registra, invece, un trend opposto con il valore della temperatura massima sempre inferiore a quello delle altre due decadi. Nell'ultima decade di analisi il mese con la temperatura massima media più elevata risulta luglio con un valore di 32,3 °C.

Analoghe considerazioni possono essere effettuate in riferimento alle temperature minime così come mostrato in Figura 2-5.

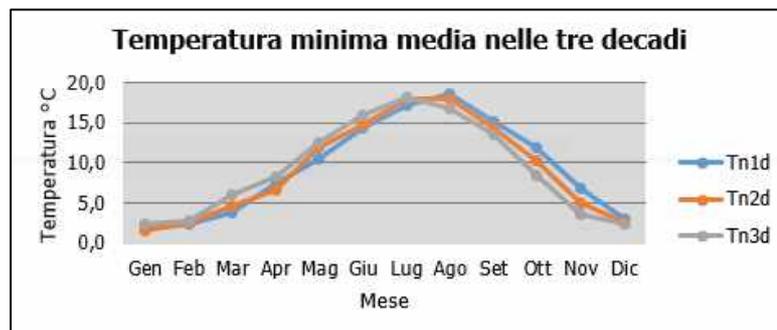


Figura 2-5 Temperatura minima media suddivisa per decadi (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

È inoltre possibile analizzare il fenomeno termico anche dal punto di vista dei percentili. In particolare, si può osservare la distribuzione in termini di differenze tra l'85° ed il 15° percentile al fine di determinare un intervallo di variazione dei valori contenuti tra tali percentili. Tale differenza può essere effettuata sia in termini di temperatura massima sia in termini di temperatura minima.

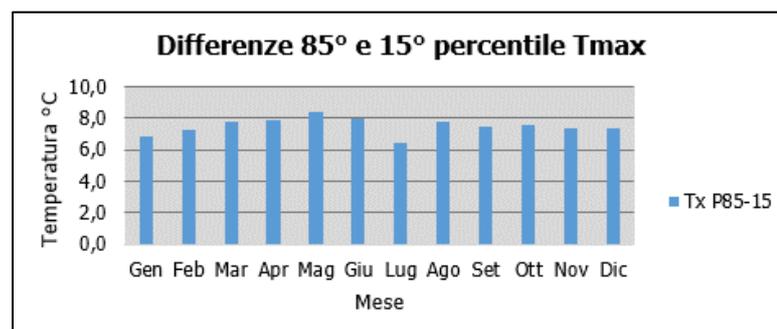


Figura 2-6 Differenza 85 – 15 percentile temperatura massima (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

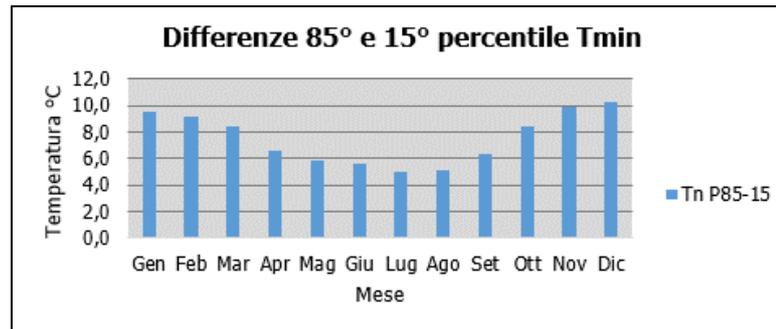


Figura 2-7 Differenza 85 – 15 percentile temperatura minima (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Dall’analisi delle temperature massime si può notare come il delta sia abbastanza costante e compreso tra 6,4 °C e 8,4 °C. Con riferimento alla temperatura minima invece, si può evidenziare un trend in cui il minimo del delta è rappresentato dai mesi estivi, il cui valore è di circa 5 °C, mentre il massimo valore si ha nei mesi invernali con il delta massimo registrato nel mese di dicembre dove la differenza tra l’85° ed il 15° percentile raggiunge un valore poco superiore ai 10°C.

In ultimo, al fine di completare l’analisi sulle distribuzioni delle temperature nei diversi mesi nelle tre decadi di riferimento, è possibile effettuare un’analisi sull’occorrenza di determinati eventi, oltre che sulla loro entità. In particolare, è possibile valutare l’occorrenza di fenomeni “estremi”, quali il superamento di temperature “soglia” sia in termini di temperatura massima, sia in termini di temperatura minima.

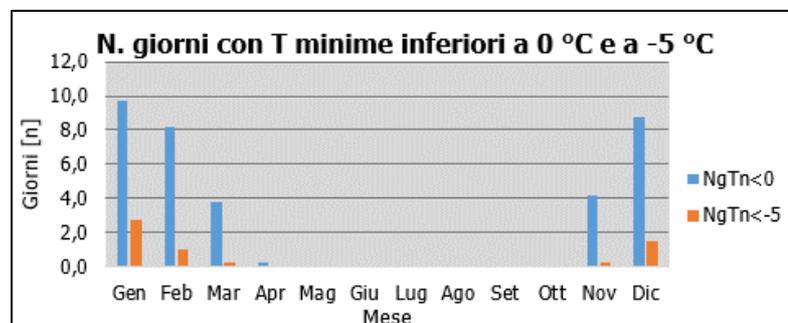


Figura 2-8 N° giorni con temperature minime inferiori a 0° e a -5° (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

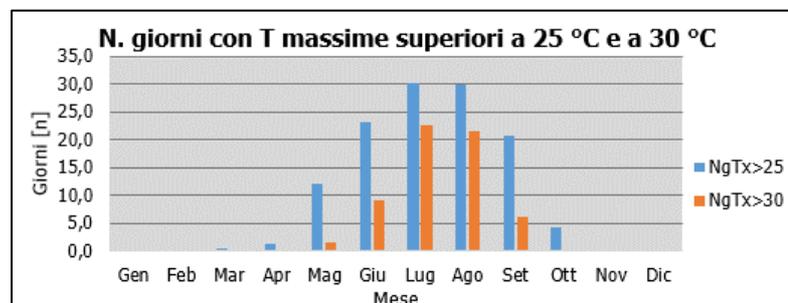


Figura 2-9 N° giorni con temperature massime superiori a 25° e 30° (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Con riferimento alle figure soprastanti è possibile verificare come le temperature inferiori ai -5 °C siano registrate nei mesi invernali di dicembre gennaio e febbraio, nel mese autunnale di novembre e nel mese primaverile di marzo, mentre le giornate con temperature inferiori allo 0 °C siano

concentrate nei mesi da novembre ad aprile.

Per quanto riguarda le temperature massime, invece, si registrano superamenti della soglia di 30 °C nei mesi di maggio, giugno, luglio, agosto e settembre mentre i superamenti della soglia di 25 °C sono molto frequenti, nei mesi più caldi, da marzo a ottobre.

Ultimo aspetto riguarda l'analisi dei giorni in cui si sono verificati i massimi ed i minimi assoluti rispetto al periodo di riferimento dell'Atlante Climatico. È possibile notare come, sia rispetto alle temperature massime che minime, la distribuzione nelle tre decadi (1971 – 1980; 1981 – 1990; 1991 – 2000) risulta essere dispersa.

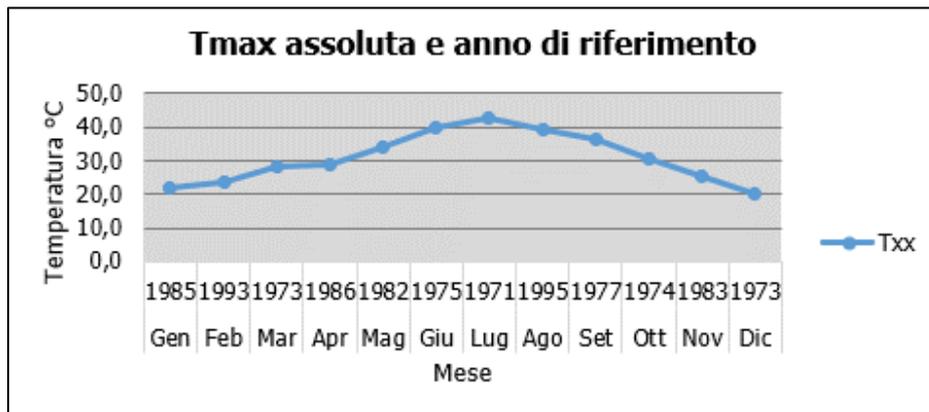


Figura 2-10 Temperatura massima assoluta ed anno di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

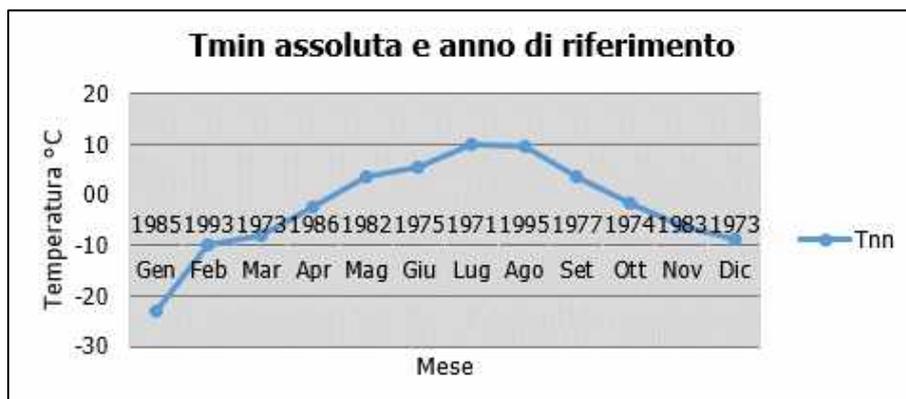


Figura 2-11 Temperatura minima assoluta ed anno di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Regime pluviometrico

Il regime pluviometrico è definito attraverso i dati registrati e riportati nella Tabella 2-5. In tale tabella sono anche riportati i dati circa l'umidità registrata nonché la presenza di nebbia e di copertura nuvolosa.

Mese	RTot	RQ0	RQ1	RQ2	RQ3	RQ4	RQ5	Rx12a	Rx12b	Rx24	AnRx24
Gen	60,5	0,8	24,7	40,6	59,6	97,6	172,7	34,0	23,2	52,0	1981
Feb	63,7	0,4	33,9	42,6	61,6	87,3	194,1	38,6	38,8	51,4	1983
Mar	63,5	1,0	23,7	42,0	70,3	92,7	168,6	34,8	39,4	44,0	1983
Apr	86,4	10,8	43,3	66,4	93,8	120,6	183,2	45,6	31,0	52,0	1996
Mag	70,0	0,4	35,4	51,5	76,1	94,3	203,2	32,0	33,2	53,4	1994

Mese	RTot	RQ0	RQ1	RQ2	RQ3	RQ4	RQ5	Rx12a	Rx12b	Rx24	AnRx24
Giu	57,1	3,2	32,6	42,5	58,7	88,4	139,0	42,6	47,6	47,6	1982
Lug	36,7	0,8	6,9	13,2	26,8	46,9	212,0	36,8	89,8	94,2	1989
Ago	56,0	0,2	13,2	42,0	58,1	91,0	117,4	86,0	54,8	86,0	1985
Set	79,6	0,6	29,7	46,8	83,2	110,4	209,4	50,6	58,8	61,4	1989
Ott	104,2	18,5	29,4	63,7	93,2	133,9	490,9	64,8	54,2	95,6	1992
Nov	113,6	6,6	51,2	90,7	125,5	178,5	434,6	54,4	48,0	65,6	1979
Dic	81,3	6,2	18,6	57,9	90,9	115,5	265,0	49,6	45,0	55,0	1979
Mese	NgR>1	NgR>5	NgR>10	NgR>50	NgFog	Ux%	Un%	Ngh6Nuv≤4	Ngh6Nuv>4	Ngh18Nuv≤4	Ngh18Nuv>4
Gen	8,3	4,1	2,2	0,0	6,8	91	56	12,6	18,0	14,4	16,2
Feb	7,1	4,0	2,2	0,0	3,0	89	47	13,8	14,1	14,3	13,4
Mar	7,5	4,4	2,3	0,0	1,4	89	44	13,3	17,5	15,0	15,6
Apr	9,7	5,7	3,0	0,0	0,8	91	45	11,8	18,6	12,0	18,6
Mag	8,4	4,5	2,4	0,0	0,2	92	45	15,1	16,6	15,4	16,1
Giu	6,3	3,6	1,8	0,0	0,1	92	43	16,3	13,4	17,9	11,8
Lug	3,5	1,7	1,3	0,1	0,0	90	40	22,7	8,1	22,7	8,1
Ago	5,4	3,0	2,0	0,1	0,1	92	40	21,3	9,4	22,5	8,4
Set	6,2	4,3	2,7	0,2	0,7	93	46	16,5	13,4	19,2	10,7
Ott	8,5	5,5	3,5	0,2	2,5	94	53	15,5	15,4	17,6	13,3
Nov	9,0	5,8	3,9	0,2	5,3	94	57	12,2	17,6	15,0	15,0
Dic	8,3	4,8	2,7	0,1	6,4	92	59	13,4	18,3	14,9	16,8

Tabella 2-5 Regime Pluviometrico (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

Il primo aspetto di analisi fa riferimento alla precipitazione totale media mensile registrata dalla stazione di riferimento in termini di millimetri, così come riportato in Figura 2-12.

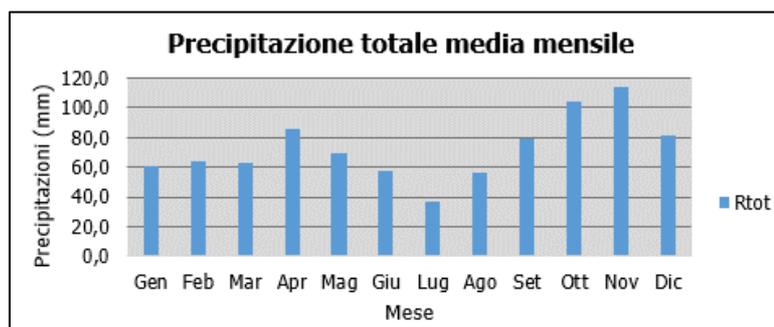


Figura 2-12 Precipitazione totale media mensile (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

È possibile notare come il mese con la media mensile più elevata sia novembre con più di 104 mm di precipitazione, mentre il mese maggiormente asciutto è luglio con un valore di circa 37 mm.

Al fine di avere una valutazione quantitativa della distribuzione delle precipitazioni nei diversi mesi è possibile fare riferimento alla Figura 2-13.

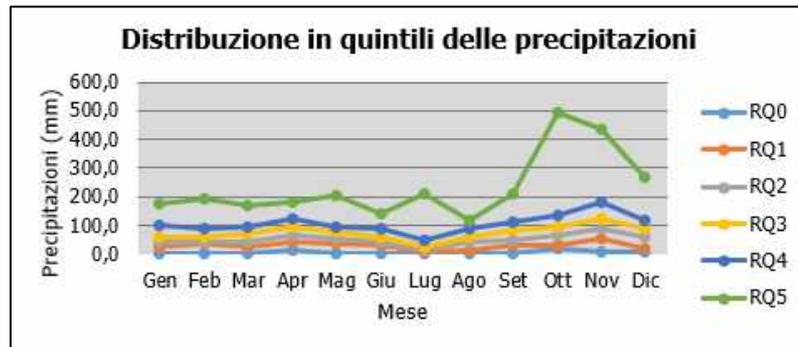


Figura 2-13 Distribuzione in quintili delle precipitazioni mensili (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

In termini qualitativi è possibile evidenziare un delta marcato tra il quarto ed il quinto quintile ovvero il massimo della distribuzione in quintili ed un delta meno marcato dal primo al quarto quintile.

È inoltre possibile valutare la divisione delle precipitazioni massime con riferimento a due intervalli temporali 00-12 e 12-24, così come definito nella Figura 2-14.

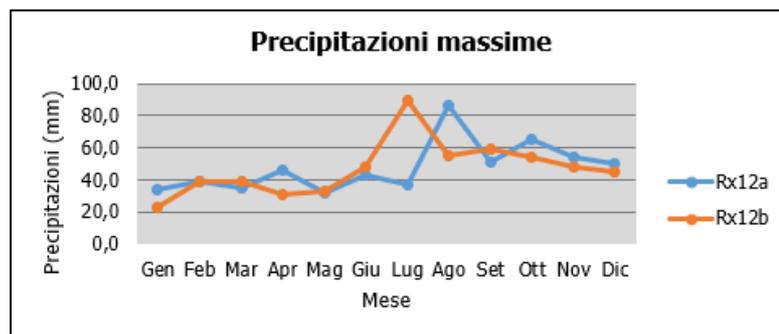


Figura 2-14 Precipitazioni massime periodi 00-12 e 12-24 (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

È possibile notare come, nel primo periodo di riferimento il massimo si registri nel mese di agosto mentre nel secondo periodo il picco è nel mese di luglio. I valori registrati sono rispettivamente di 86 mm e 90 mm di precipitazione circa.

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

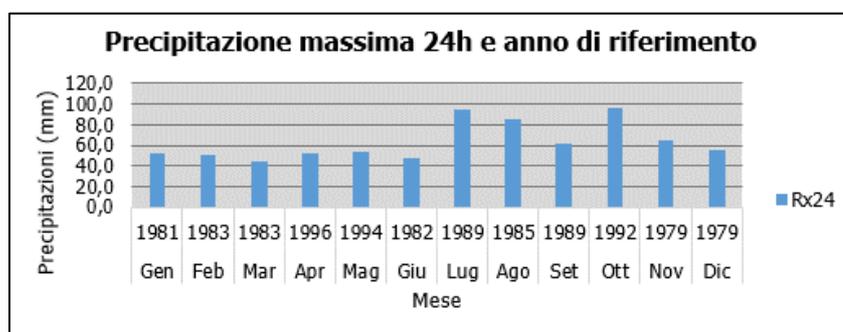


Figura 2-15 Precipitazioni massima nelle 24 h ed anno di occorrenza (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

In ultimo, in analogia a quanto visto per le temperature, anche per il regime pluviometrico viene effettuata un'analisi circa il numero di giorni in cui si verifica il superamento di determinati valori

di soglia. Nel caso in esame, riportato in Figura 2-16, vengono riportati il numero medio di giorni con precipitazioni superiori ad 1, 5, 10 e 50 mm.

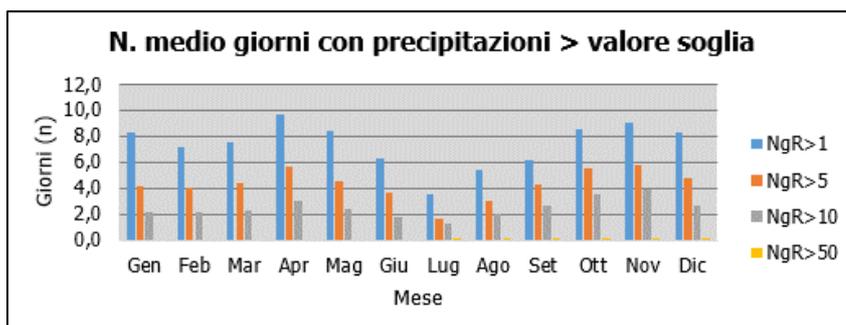


Figura 2-16 N° di giorni medio al mese con precipitazioni superiori a 1, 5, 10 e 50 mm di precipitazioni (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Dall'analisi di tali dati è possibile evidenziare come il mese di aprile sia quello in cui mediamente ci sono più giorni con superamento del valore di 1 mm subito seguito dal mese di novembre, mentre per quanto riguarda la soglia più elevata (50 mm) i superamenti si registrano nei mesi da luglio a dicembre.

Con riferimento al secondo parametro analizzato, ovvero la presenza di nebbia, è possibile osservare la Figura 2-17, in cui vengono rappresentati i giorni medi al mese in cui è presente la nebbia. La distribuzione di tali valori varia molto poco poiché compresa sempre tra 0 e 6 giorni di nebbia, i valori più alti si registrano nei mesi invernali.

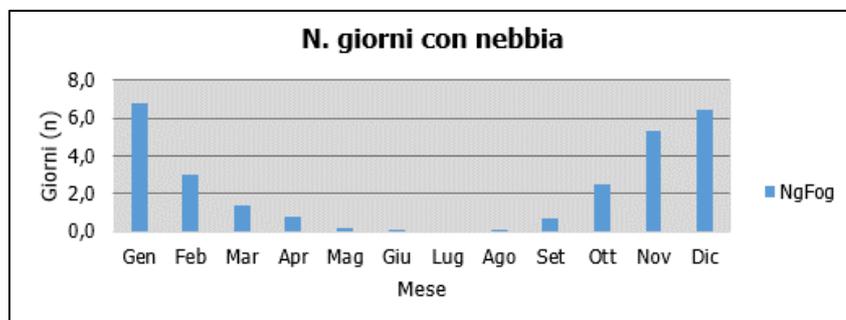


Figura 2-17 Numero di giorni medio al mese con presenza di nebbia (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Con riferimento all'umidità percentuale massima e minima si nota come il primo parametro sia compreso tra l'89 e il 94%, con oscillazioni molto contenute, i cui massimi si registrano nei mesi invernali da ottobre a dicembre e nel mese di settembre. Con riferimento al secondo parametro il delta si amplia con un valore minimo nei mesi di luglio ed agosto pari al 40%, valori di peso maggiori tra marzo e giugno in media pari a circa il 44% e valori più alti negli altri mesi, con il massimo valore registrato nei mesi di novembre e dicembre pari rispettivamente al 57 e 59%.

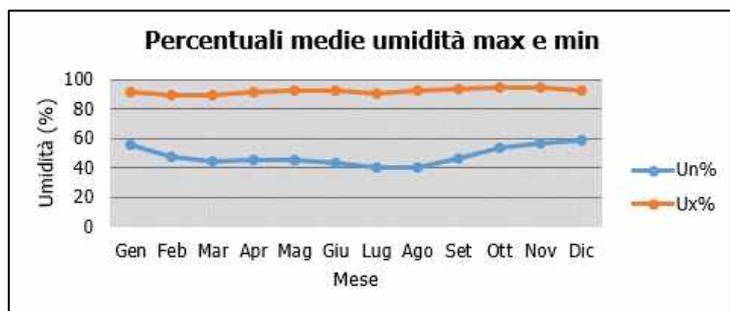


Figura 2-18 Media mensile dell'umidità percentuale massima e minima (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

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

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

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

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

Le risultanze di tali analisi sono riportate nella Figura 2-19.

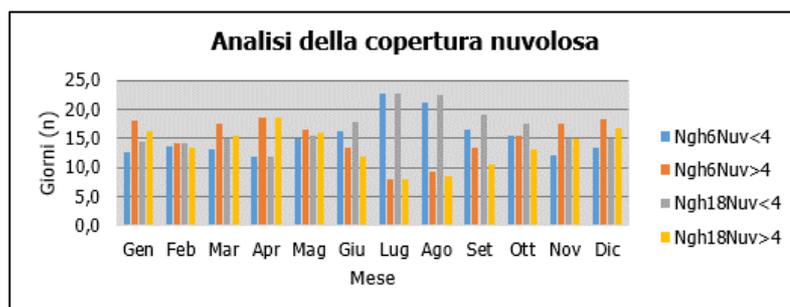


Figura 2-19 Analisi della copertura nuvolosa (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Si può evincere come durante i mesi dell'anno più o meno si registrano 15 giorni di nuvolosità elevata con massimi fino ai 18 giorni nei mesi invernali di dicembre e gennaio e 15 giorni di nuvolosità bassa, con minimi nei mesi estivi da giugno a settembre.

Regime anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi al vento è possibile identificarne sia la direzione sia l'entità espressa in nodi, suddivisa nelle classi definite precedentemente. I valori registrati sono sinteticamente riportati nelle tabelle seguenti con riferimento a quattro orari: 00:00, 06:00, 12:00,

18:00.

HH00													
Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	65,0	4,1	1,2	0,0	6,2	2,1	0,4	5,8	0,4	0,0	2,1	0,8	0,0
Feb	63,4	2,7	0,5	0,0	3,2	3,2	0,0	4,5	0,5	0,0	6,3	0,5	0,0
Mar	60,6	2,0	2,4	0,8	3,2	2,8	0,8	10,4	1,2	0,0	6,4	0,4	0,0
Apr	57,2	2,5	0,9	0,0	2,1	2,5	0,0	11,9	1,3	0,0	7,6	0,4	0,0
Mag	61,9	0,4	0,0	0,0	1,5	0,7	0,0	15,8	0,4	0,0	5,1	0,0	0,0
Giu	62,1	2,1	0,8	0,0	2,1	1,3	0,0	15,8	0,0	0,0	3,8	0,4	0,0
Lug	65,1	1,9	0,0	0,0	1,9	0,5	0,0	12,3	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0
Ago	61,7	2,3	0,5	0,0	1,9	0,0	0,0	15,9	0,5	0,0	4,7	0,0	0,0
Set	72,4	1,7	1,7	0,0	0,9	2,6	0,0	6,0	0,9	0,0	6,0	0,0	0,0
Ott	67,1	2,1	1,3	0,0	0,0	5,1	0,4	3,8	2,5	0,0	9,3	0,0	0,0
Nov	63,6	1,7	0,9	0,0	3,4	2,1	0,0	5,1	0,9	0,0	5,1	0,4	0,0
Dic	58,0	5,1	1,8	0,7	2,5	2,2	0,7	7,3	1,5	0,0	4,7	0,0	0,0
Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	Vxx
Gen	3,3	0,8	0,0	3,3	0,4	0,0	2,5	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	66,0
Feb	3,2	0,9	0,0	5,0	0,5	0,0	1,4	0,9	0,0	1,8	0,5	0,0	53,0
Mar	3,6	0,0	0,0	2,4	0,8	0,0	0,8	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	80,0
Apr	3,8	0,0	0,0	4,7	0,0	0,4	3,4	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	61,0
Mag	4,8	0,0	0,0	7,3	0,4	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,0
Giu	2,5	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	76,0
Lug	3,8	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	58,0
Ago	5,1	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	66,0
Set	0,9	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,9	0,4	0,0	47,0
Ott	5,5	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
Nov	4,2	0,4	0,0	4,7	1,3	0,0	1,3	1,3	0,0	2,5	0,9	0,0	54,0
Dic	3,6	0,0	0,0	5,1	0,0	0,4	2,9	0,4	0,0	2,5	0,4	0,0	58,0

Tabella 2-6 Andamento del regime anemometrico ore 00:00 (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

HH06													
Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	72,1	1,5	1,8	0,1	2,6	3,1	0,1	3,6	0,9	0,0	1,9	0,2	0,0
Feb	73,2	1,2	1,7	0,0	3,0	4,3	0,1	4,3	0,8	0,0	2,2	0,3	0,0
Mar	75,1	1,6	1,5	0,2	2,5	3,4	0,4	4,0	1,1	0,0	2,2	0,2	0,0
Apr	74,5	2,1	0,7	0,0	2,4	1,9	0,2	4,0	0,5	0,0	3,7	0,1	0,0
Mag	79,9	1,1	0,7	0,0	1,5	0,5	0,1	2,4	0,1	0,0	2,7	0,1	0,0
Giu	83,0	1,1	0,0	0,0	1,3	0,5	0,0	2,2	0,0	0,0	3,2	0,2	0,0
Lug	85,1	0,9	0,4	0,0	1,4	0,2	0,0	2,5	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0
Ago	86,7	0,8	0,7	0,0	0,9	0,7	0,0	1,8	0,2	0,0	1,9	0,1	0,0
Set	83,2	0,8	1,0	0,1	1,6	0,6	0,0	2,4	0,2	0,0	2,9	0,0	0,0
Ott	76,6	1,4	0,7	0,1	3,2	2,1	0,1	3,3	0,5	0,0	3,0	0,2	0,0
Nov	74,2	2,6	1,6	0,1	2,2	1,8	0,2	3,2	0,2	0,0	3,6	0,0	0,0
Dic	68,6	2,2	1,9	0,2	2,1	2,9	0,9	3,5	1,4	0,0	2,6	0,2	0,0
Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	
Gen	2,5	0,4	0,1	4,3	0,4	0,0	2,4	0,2	0,0	1,4	0,2	0,0	2,5

HH06													
Feb	2,7	0,1	0,0	2,7	0,6	0,0	0,6	0,1	0,0	1,2	0,3	0,0	2,7
Mar	1,4	0,7	0,0	2,2	0,4	0,0	0,9	0,4	0,0	1,3	0,2	0,0	1,4
Apr	3,4	0,1	0,0	2,1	0,4	0,0	0,9	0,1	0,0	1,5	0,5	0,0	3,4
Mag	3,4	0,0	0,0	2,5	0,2	0,0	2,6	0,1	0,0	1,4	0,1	0,0	3,4
Giu	2,7	0,1	0,0	3,0	0,4	0,0	1,5	0,1	0,0	0,6	0,0	0,0	2,7
Lug	2,2	0,0	0,0	2,3	0,1	0,0	1,5	0,1	0,0	0,9	0,0	0,0	2,2
Ago	2,1	0,0	0,0	1,9	0,1	0,0	1,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	2,1
Set	1,9	0,0	0,0	2,5	0,2	0,0	1,2	0,0	0,0	0,8	0,1	0,0	1,9
Ott	3,2	0,1	0,0	2,1	0,4	0,0	1,4	0,4	0,0	0,7	0,2	0,0	3,2
Nov	2,7	0,1	0,0	2,6	0,7	0,0	1,7	0,0	0,0	1,2	0,1	0,0	2,7
Dic	3,3	0,2	0,0	3,7	0,6	0,1	2,6	0,1	0,0	2,1	0,5	0,0	3,3

Tabella 2-7 Andamento del regime anemometrico ore 06:00 (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

HH12													
Mese	Cal me	N1- 10	N11 -20	N>2 0	NE1- 10	NE11- 20	NE>2 0	E1- 10	E11- 20	E>20	SE1- 10	SE11- 20	SE>2 0
Gen	57,9	3,6	3,6	0,4	1,9	7,0	0,4	4,7	0,8	0,0	1,8	0,5	0,0
Feb	46,4	3,4	4,7	0,3	3,5	12,7	1,0	2,8	3,4	0,0	3,1	0,8	0,0
Mar	36,7	3,8	3,5	0,5	3,2	12,7	1,5	2,8	2,0	0,0	3,0	0,2	0,0
Apr	23,9	4,6	3,3	0,1	3,0	11,0	1,1	3,2	1,7	0,0	2,5	0,6	0,0
Mag	21,5	2,9	2,3	0,0	4,3	9,5	0,2	3,1	0,7	0,1	1,5	0,1	0,0
Giu	20,4	3,0	1,9	0,0	3,0	6,7	0,1	2,5	1,6	0,0	1,7	0,4	0,0
Lug	21,1	2,8	2,7	0,0	4,7	6,6	0,0	4,1	1,1	0,0	1,1	0,1	0,0
Ago	23,7	3,0	2,3	0,1	4,2	6,9	0,1	3,7	0,9	0,0	1,5	0,1	0,0
Set	37,8	3,0	2,1	0,1	4,7	7,8	0,2	4,3	1,6	0,0	1,9	0,1	0,0
Ott	47,1	3,4	3,5	0,1	5,3	8,5	0,8	5,2	1,9	0,0	2,2	0,2	0,0
Nov	56,3	4,5	2,9	0,1	3,8	7,4	0,2	3,2	0,7	0,0	2,6	0,4	0,0
Dic	58,0	3,6	2,4	0,8	1,7	8,0	1,3	2,7	1,5	0,1	2,0	0,2	0,0
Mese	S1- 10	S11 -20	S>2 0	SW1 -10	SW11 -20	SW>2 0	W1- 10	W11 -20	W>2 0	NW1 -10	NW11 -20	NW>2 0	
Gen	2,1	0,7	0,0	4,1	1,6	0,2	2,6	0,7	0,0	3,9	0,7	0,0	2,1
Feb	2,6	1,0	0,0	3,0	1,8	0,0	4,1	0,7	0,0	3,1	0,4	0,0	2,6
Mar	3,2	0,9	0,0	5,9	2,6	0,2	8,4	1,6	0,1	5,0	0,6	0,1	3,2
Apr	4,8	1,5	0,0	8,3	3,4	0,0	14,7	3,7	0,1	5,5	0,8	0,0	4,8
Mag	4,3	0,6	0,0	12,9	3,8	0,1	18,1	4,4	0,1	6,1	0,5	0,0	4,3
Giu	4,5	0,4	0,0	15,5	5,7	0,1	20,8	4,7	0,0	4,4	0,6	0,0	4,5
Lug	2,7	0,5	0,1	12,5	3,8	0,0	22,5	3,4	0,0	5,8	0,7	0,1	2,7
Ago	4,7	0,2	0,0	14,2	1,8	0,0	20,4	2,6	0,1	5,7	0,6	0,1	4,7
Set	2,7	0,7	0,0	7,7	2,5	0,0	11,2	3,0	0,0	6,2	0,6	0,0	2,7
Ott	2,8	0,5	0,0	4,5	2,0	0,1	5,1	1,5	0,1	3,6	0,4	0,0	2,8
Nov	2,3	1,3	0,0	4,5	1,3	0,2	2,8	0,6	0,0	3,5	0,7	0,0	2,3
Dic	2,4	0,7	0,0	3,1	1,7	0,2	4,3	1,2	0,0	3,1	0,2	0,0	2,4

Tabella 2-8 Andamento del regime anemometrico ore 12:00 (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

HH18													
Mese	Cal me	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	66,5	2,9	2,0	0,0	4,1	2,2	0,1	6,1	0,7	0,0	2,7	0,5	0,0
Feb	55,1	3,0	1,8	0,3	6,5	6,9	0,5	4,4	2,5	0,1	2,5	0,3	0,0
Mar	37,5	4,7	1,6	0,0	6,6	7,1	0,8	3,0	2,3	0,0	1,4	0,2	0,0
Apr	29,0	3,5	1,4	0,0	6,6	5,9	0,5	3,6	0,9	0,0	2,0	0,2	0,0
Mag	23,6	3,2	1,6	0,1	6,4	4,8	0,0	3,0	0,8	0,1	1,4	0,1	0,0
Giu	17,0	2,5	0,8	0,1	5,9	2,8	0,0	3,0	0,8	0,0	1,6	0,1	0,0
Lug	11,3	4,3	1,1	0,0	8,4	3,4	0,0	3,4	0,8	0,0	0,6	0,2	0,0
Ago	19,9	4,0	1,1	0,0	7,6	3,3	0,0	4,0	1,4	0,0	0,8	0,0	0,0
Set	44,5	3,7	0,8	0,0	5,7	3,1	0,0	4,2	1,0	0,0	1,7	0,0	0,0
Ott	65,8	2,6	0,5	0,0	4,2	2,7	0,1	5,8	0,8	0,0	3,2	0,0	0,0
Nov	63,8	3,7	2,2	0,1	4,1	2,4	0,6	6,2	0,5	0,0	3,2	0,1	0,0
Dic	63,0	2,6	2,1	0,2	3,8	4,1	0,7	6,2	0,1	0,1	3,0	0,5	0,0
Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	
Gen	3,2	0,4	0,0	3,7	0,5	0,0	1,7	0,1	0,0	1,4	0,5	0,0	3,2
Feb	2,3	0,3	0,0	4,5	1,2	0,1	3,5	0,3	0,0	2,7	0,8	0,0	2,3
Mar	2,1	0,6	0,0	10,9	2,0	0,0	12,4	2,0	0,0	3,4	0,6	0,0	2,1
Apr	3,6	0,6	0,1	15,4	3,6	0,0	14,7	4,2	0,0	3,3	0,1	0,0	3,6
Mag	2,1	0,6	0,0	19,4	3,9	0,0	17,8	7,0	0,0	3,5	0,6	0,0	2,1
Giu	1,8	0,1	0,0	16,0	8,8	0,0	24,0	10,1	0,0	2,8	0,7	0,0	1,8
Lug	2,1	0,1	0,1	17,1	5,9	0,1	25,8	10,2	0,0	4,2	0,8	0,0	2,1
Ago	1,3	0,4	0,0	16,5	3,6	0,0	22,2	6,8	0,0	5,9	1,1	0,0	1,3
Set	1,8	0,2	0,0	10,9	0,8	0,0	14,7	1,9	0,0	3,6	0,6	0,0	1,8
Ott	2,3	0,1	0,0	4,4	0,6	0,0	3,2	0,4	0,0	1,9	0,2	0,0	2,3
Nov	3,6	0,1	0,0	3,2	0,7	0,1	2,6	0,6	0,0	1,1	0,5	0,0	3,6
Dic	3,3	0,2	0,0	4,7	0,8	0,1	1,7	0,5	0,1	1,9	0,2	0,0	3,3

Tabella 2-9 Andamento del regime anemometrico ore 18:00 (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

I diagrammi seguenti riportano, in funzione delle diverse stagioni e dei diversi orari, le direzioni di provenienza dei venti, espressi in termini percentuali. Al fine di una loro corretta lettura è opportuno specificare come le diverse aree rappresentino la frequenza della direzione del vento osservata in funzione delle classi di intensità, rispettivamente partendo dal margine interno a quello esterno:

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

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

- la stagione invernale nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio;
- la stagione primaverile nei mesi marzo, aprile e maggio;
- la stagione estiva nei mesi di giugno, luglio e agosto;
- la stagione autunnale nei mesi di settembre, ottobre e novembre.

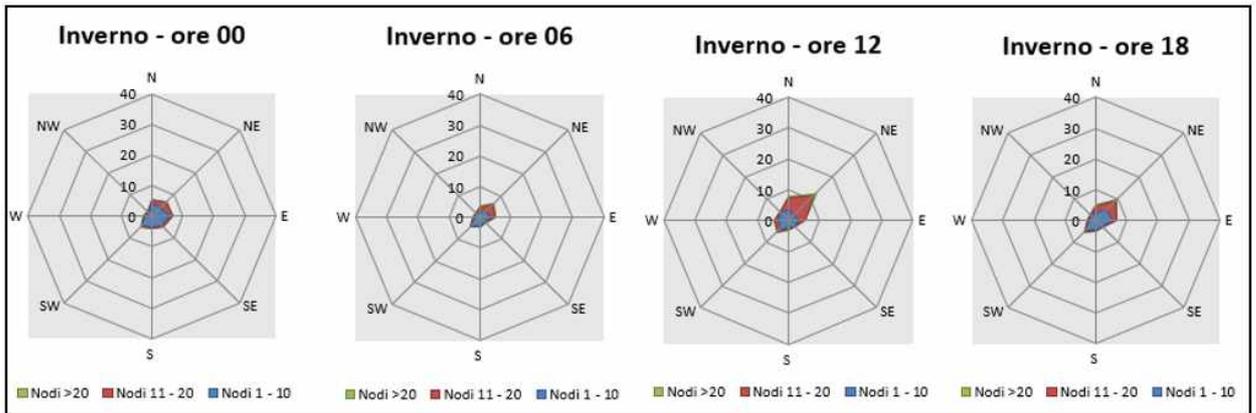


Figura 2-20 Regime anemometrico invernale nelle 4 ore di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

L'analisi dei diagrammi mostra per la stagione invernale una prevalenza di vento con direzione, nord-est e sud-ovest specialmente nelle ore notturne mentre nelle ore diurne vengono accentuate le direzioni nord-est e diminuisce la direzione sud-ovest e viceversa. Relativamente alle velocità, in termini di nodi, queste risultano concentrate prevalentemente nella prima classe e seconda classe.

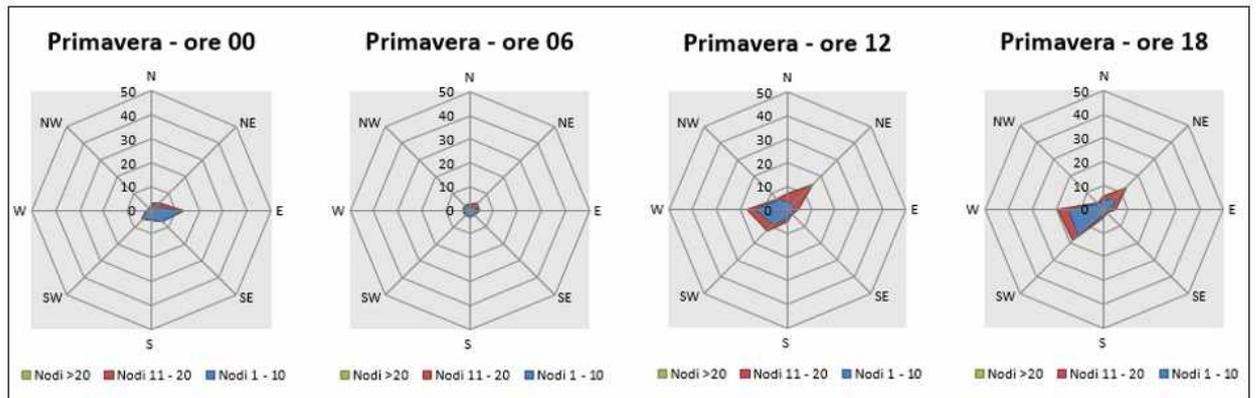


Figura 2-21 Regime anemometrico primaverile nelle 4 ore di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico)

La stagione primaverile ha prevalenza sud-ovest, ovest e nord-est in particolare maggiormente a sud-ovest nelle ore notturne e ovest nelle ore diurne, con prevalenza della prima e seconda classe in termini di intensità del vento.

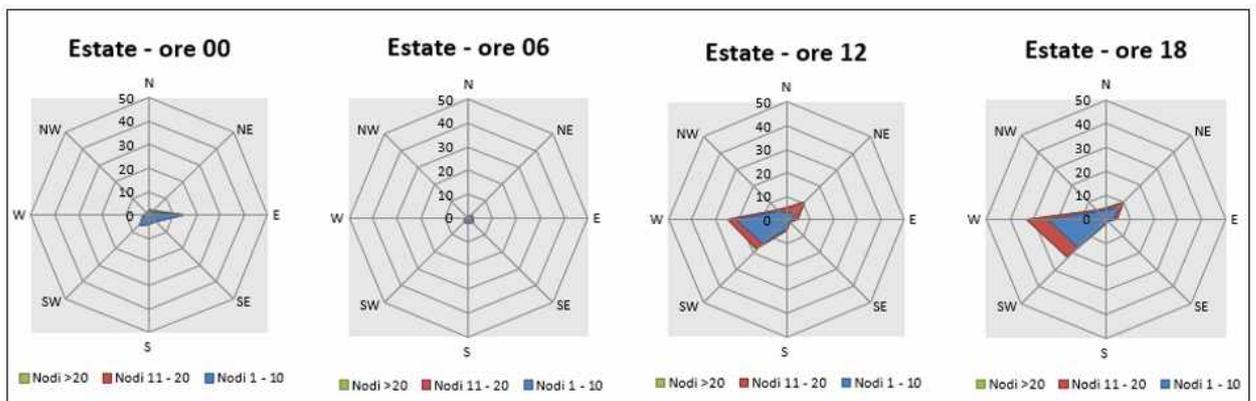


Figura 2-22 Regime anemometrico estivo nelle 4 ore di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico)

Come nel periodo primaverile, anche in quello estivo prevalgono le direzioni sud-ovest, ovest e nord-est con circa lo stesso andamento nelle diverse ore del giorno. In termini di intensità del vento, invece, viene registrata una velocità in nodi principalmente appartenente alla prima ed alla seconda classe.

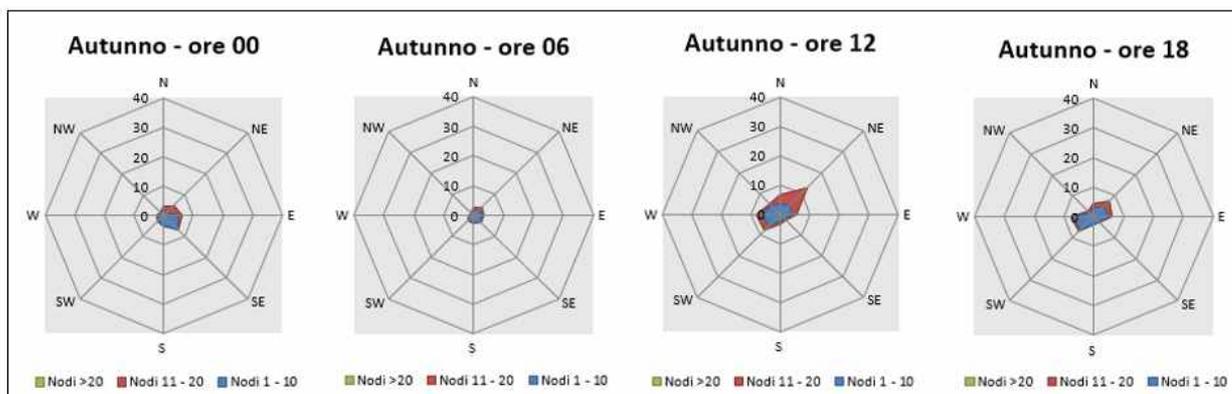


Figura 2-23 Regime anemometrico autunnale nelle 4 ore di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico)

Con riferimento alla stagione autunnale, coerentemente con la stagione invernale, si rilevano come prevalenti le direzioni nord-est e sud-ovest con velocità appartenenti alla prima e seconda classe.

2.3 IL DATO ATTUALE: BOLLETTINO METAR ANNO 2020

Descrizione formato e disponibilità dei dati

I dati meteorologici vengono costantemente rilevati dagli osservatori e dalle stazioni per poi essere aggregati per l'utilizzo, la trasmissione e l'archiviazione sotto forma di bollettini meteorologici da parte dell'Aeronautica Militare.

In particolare, il bollettino METAR, dal quale sono stati ricavati i dati meteorologici dell'area di studio, relativi al 2020, rappresenta un messaggio di osservazione in superficie di tipo aeronautico, che viene emesso ogni mezz'ora oppure ogni ora a seconda del servizio della stazione.

I principali parametri meteorologici utilizzati per le analisi meteo climatiche sono:

- **Temperatura:** la temperatura dell'aria viene espressa in gradi centigradi [°C] e misurata attraverso termometri posizionati ad un'altezza variabile tra 1,25 e 2 metri dal suolo su terreno controllato coperto, protetti da precipitazioni e radiazione incidente, mantenendo libera la circolazione dell'aria. In particolare, per il bollettino METAR la temperatura dell'aria è registrata ogni ora o mezz'ora in °C, approssimata al grado intero.
- **Vento:** per il vento vengono adottate differenti unità di misura in base alla componente. Per l'intensità, che corrisponde alla velocità dell'aria rispetto al suolo, l'unità di misura utilizzata è il nodo (KT che corrisponde a 1.852 km/h) e per la direzione di provenienza il grado sessagesimale (si assume come valore 0 la calma di vento e 360 il nord). Lo strumento di misura, chiamato anemometro, è posto, lontano da ostacoli, ad un'altezza di 10 metri dal suolo. In particolare, per il bollettino METAR viene fornita la direzione e l'intensità del vento al suolo; viene, inoltre, indicata anche la raffica, che consiste nella velocità

massima del vento riferita allo stesso periodo di 10 minuti, quando questa supera di almeno 10 nodi il valore dell'intensità.

- **Visibilità:** la visibilità orizzontale viene stimata empiricamente dall'operatore attraverso l'osservazione di opportuni riferimenti posti a distanza nota sul giro d'orizzonte.
- **Pressione:** le unità di misura utilizzate sono l'hectoPascal [hPa] e il millibar [mb], che coincidono numericamente. I barometri sono di tipo a colonna di mercurio oppure a capsule aneroidi ed indicano la pressione misurata al livello della stazione. In particolare, per il bollettino METAR viene fornito in hPa il QNH ovvero la pressione ridotta al livello del mare secondo un'atmosfera standard (ICAO).

La stazione considerata, coerentemente a quella scelta per l'analisi storica, è rappresentata dalla **stazione di Firenze, Aeroporto Amerigo Vespucci**.

Al fine di poter descrivere compiutamente lo stato attuale, si riportano di seguito le descrizioni dei parametri meteorologici principali per l'anno di riferimento, 2020, per poi successivamente confrontare questi con i dati storici e verificarne la coerenza. Qualora la verifica risultasse positiva in termini di coerenza sarà possibile utilizzare i dati meteo attuali (2020) come riferimento per le simulazioni modellistiche.

Regime Termico

Per quanto riguarda le temperature nell'anno di riferimento, nella Tabella 2-10 vengono riportati i valori minimi, medi e massimi registrati dalla stazione di Firenze, Aeroporto Amerigo Vespucci mentre nella Figura 2-24 sono riportati gli andamenti della temperatura oraria. Come si può notare, la temperatura minima scende sotto gli 0 °C nei mesi tra gennaio e aprile nonché nel mese di novembre, registrando il minimo assoluto pari a -2,8 °C in gennaio e febbraio. Le temperature massime, invece, si registrano nei mesi estivi di luglio e agosto, con un massimo assoluto di 37,8 °C. La temperatura media annuale è pari a circa 16 °C.

Periodo	T. Min (°C)	T. Media (°C)	T. Max(°C)
Gen	-2.8	6.9	16.1
Feb	-2.8	10.1	18.9
Mar	-1.1	10.5	22.8
Apr	-2.2	14.6	25.0
Mag	7.8	19.4	27.8
Giu	11.1	21.7	32.8
Lug	13.9	25.7	37.8
Ago	13.9	26.6	37.8
Set	7.8	22.1	33.9
Ott	5.0	14.4	25.0
Nov	-2.2	11.7	22.2
Dic	0.0	8.1	17.8

Tabella 2-10 Valori di Temperatura minima, media e massima registrate nel 2018 (fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

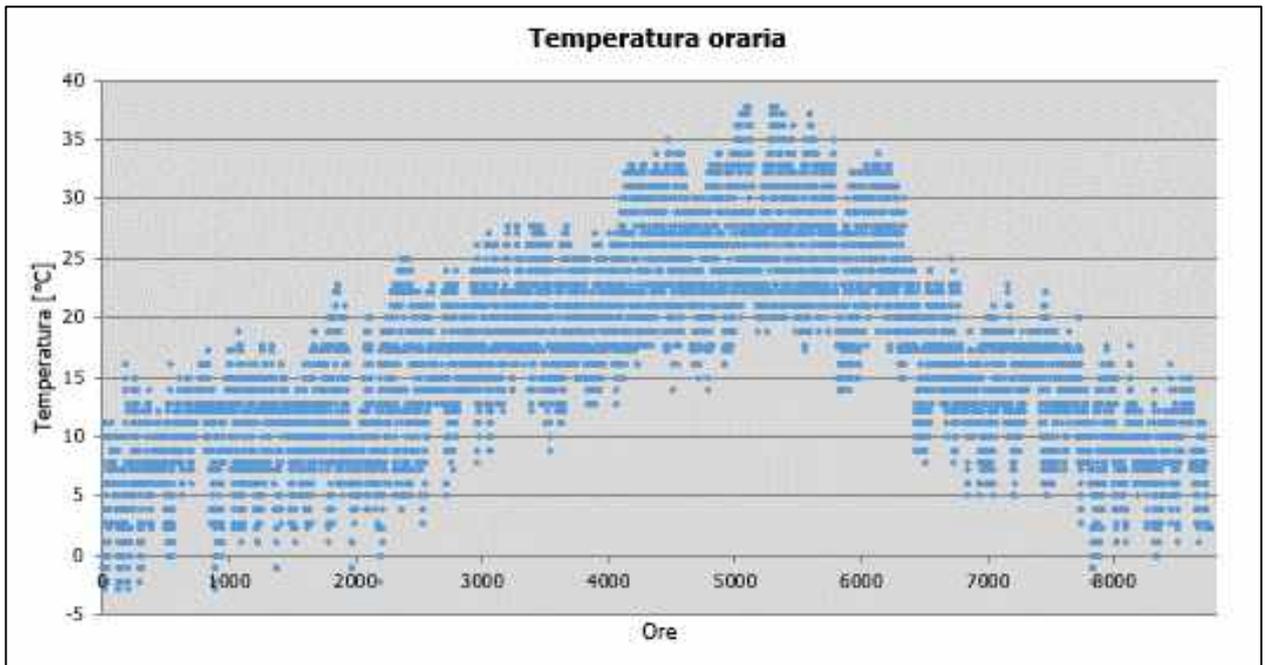


Figura 2-24 Temperatura oraria (Fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

Regime Anemometrico

L'intensità del vento registrata, Figura 2-25, assume dei picchi di valore nel mese di ottobre arrivando anche a valori di circa 14 m/s, anche se durante tutto l'anno si mantiene una media assoluta di 3.6 m/s.

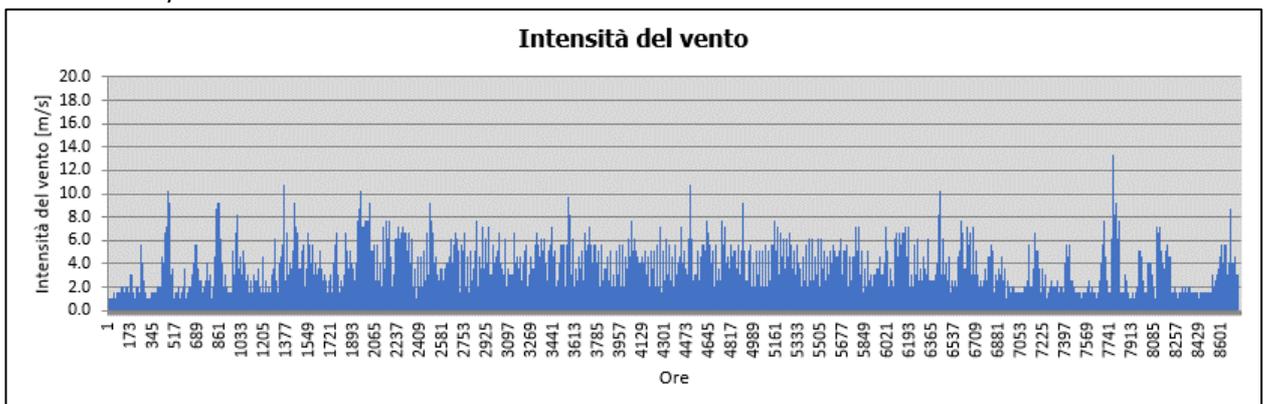


Figura 2-25 Intensità del vento (fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

In relazione alla frequenza percentuale per direzione del vento, Figura 2-21, si nota come le direzioni prevalenti registrate siano:

- N che si verifica in circa il 9 % delle ore dell'anno;
- E e ENE che si verificano in circa il 12 e 8 % delle ore dell'anno;
- SW che si verificano in circa l'8 % delle ore dell'anno.

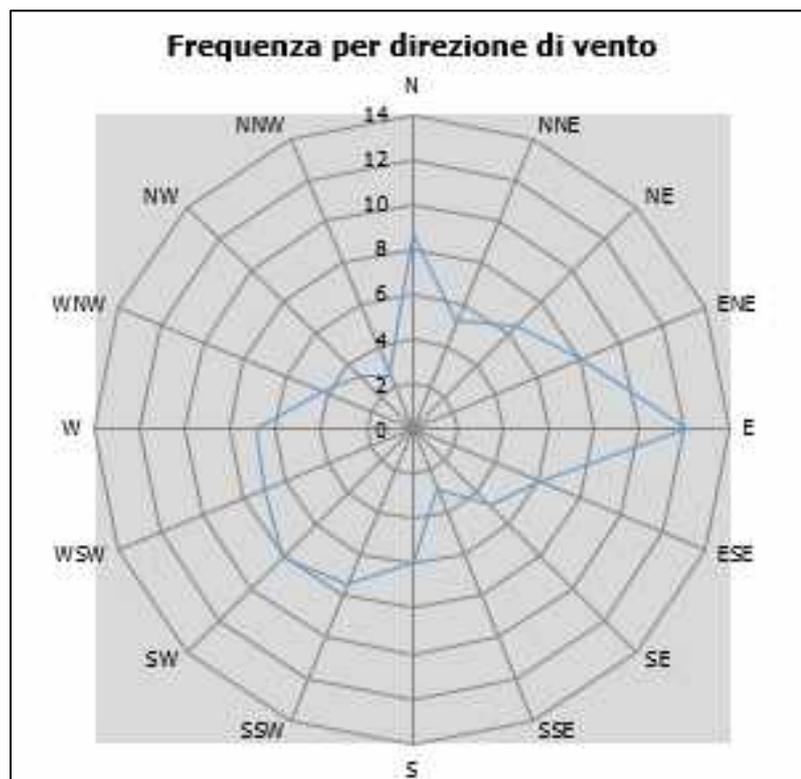


Figura 2-26 Frequenza per direzione di vento (Fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

Nuvolosità

Il grado di nuvolosità viene calcolato in ottavi, dove, ad esempio, il valore 8 risulta essere quello in cui si ha il più alto grado di copertura. La Tabella 2-11 descrive nel dettaglio tale parametro.

Aspetto del cielo	Descrizione e intensità
Sereno	copertura 0 ottavi
Poco nuvoloso	copertura 1-2 ottavi
Nuvoloso	copertura 3-5 ottavi
Molto nuvoloso	copertura 6-7 ottavi
Coperto	copertura 8 ottavi

Tabella 2-11 Grado di nuvolosità

Dal grafico riguardante la frequenza del grado di nuvolosità, Figura 2-27, si nota una bassa frequenza di grado di nubi della classe 8, mentre la frequenza più alta è registrata nella classe di nuvolosità 1 o 2.

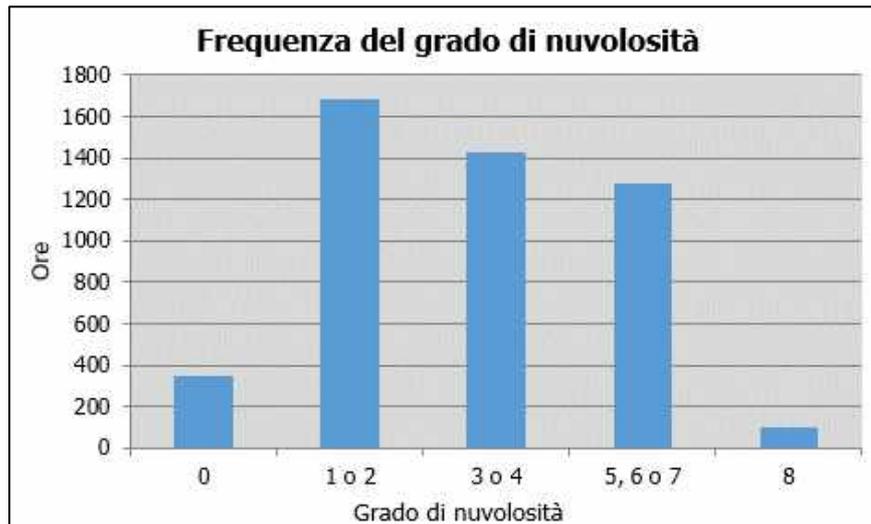


Figura 2-27 Frequenza del grado di nuvolosità (Fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

2.4 IL CONFRONTO TRA IL DATO STORICO E L'ANNO DI RIFERIMENTO DELLE SIMULAZIONI

Parametri di confronto

Al fine di validare la simulazione che si andrà a condurre, in relazione all'aspetto meteorologico, è opportuno verificare la bontà del dato attuale assunto con la serie storica analizzata.

Ciò che si intende valutare, quindi, è la significatività del dato attuale 2020 rispetto alle condizioni meteorologiche che generalmente si verificano nell'area di Firenze Peretola (Aeroporto Amerigo Vespucci) in cui è localizzata la stazione meteo, prossima al luogo di intervento.

Con tale verifica sarà quindi evidenziato come il dato meteorologico del 2020 sia conforme al dato storico, non rappresentando così un "outliers" rispetto alle condizioni meteo climatiche medie storiche analizzate nella stessa area. Nello specifico verranno, quindi, di seguito, analizzati e confrontati i principali parametri utilizzati nelle simulazioni modellistiche, quali il regime termico ed il regime anemometrico.

Regime Termico

Per quanto riguarda il Regime Termico il confronto è stato effettuato *in primis* tra le temperature medie mensili (cfr. Figura 2-28). Tale grafico mostra un andamento pressoché invariato tra i due differenti riferimenti temporali.

In particolare, i dati dell'anno di riferimento registrano un incremento medio nell'anno circa pari al 10%, attribuibile al riscaldamento globale che negli ultimi anni sta interessando sempre di più la Terra.

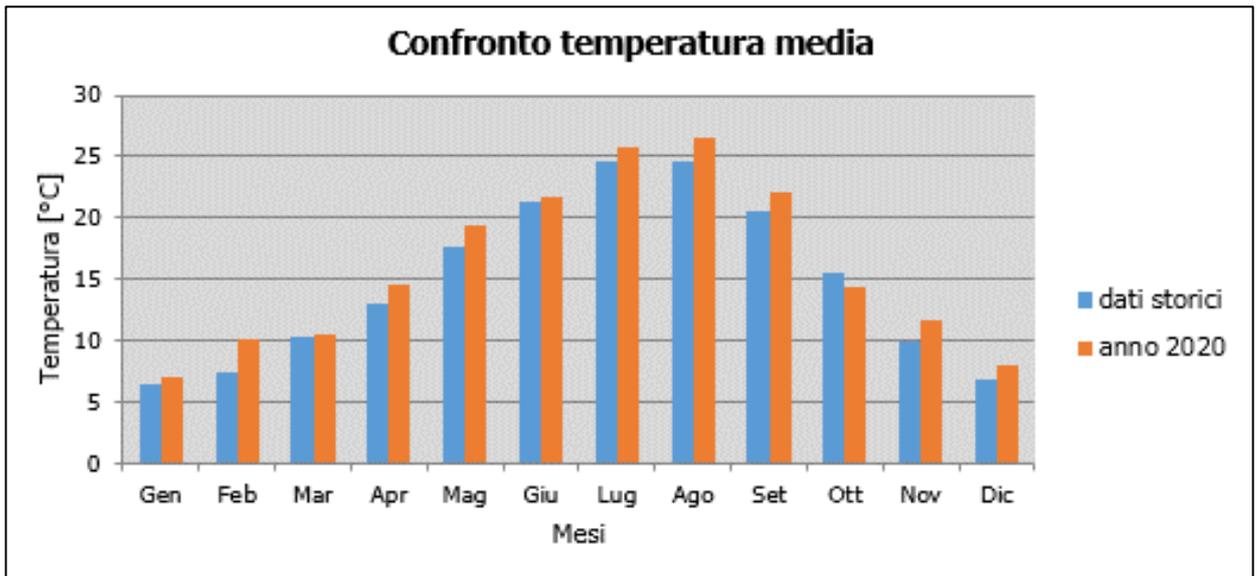


Figura 2-28 Confronto temperatura media (Fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

Anche nel confronto della temperatura massima media e minima media (cfr. Figura 2-29 e Figura 2-30) tra le tre decadi precedentemente studiate e l'anno di riferimento, il trend rimane analogo e non si registrano evidenti differenze di valori di tali temperature. Infatti, come è possibile notare dal grafico, per la temperatura massima media si registra un generale incremento dei valori di temperatura, pari in media a circa il 7% in più rispetto ai dati storici.

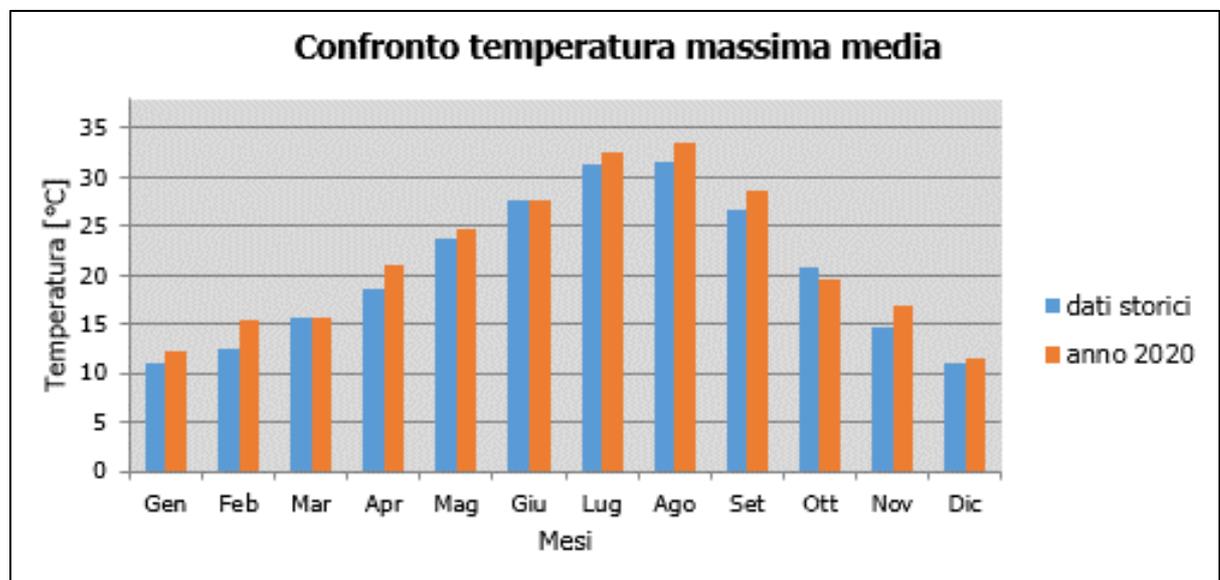


Figura 2-29 Confronto temperatura massima media (Fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

Allo stesso modo anche per le temperature minime medie si riscontra un trend analogo tra i dati storici ed i dati del 2020 con un incremento di temperatura del dato attuale rispetto alla serie storica pari al 25%.

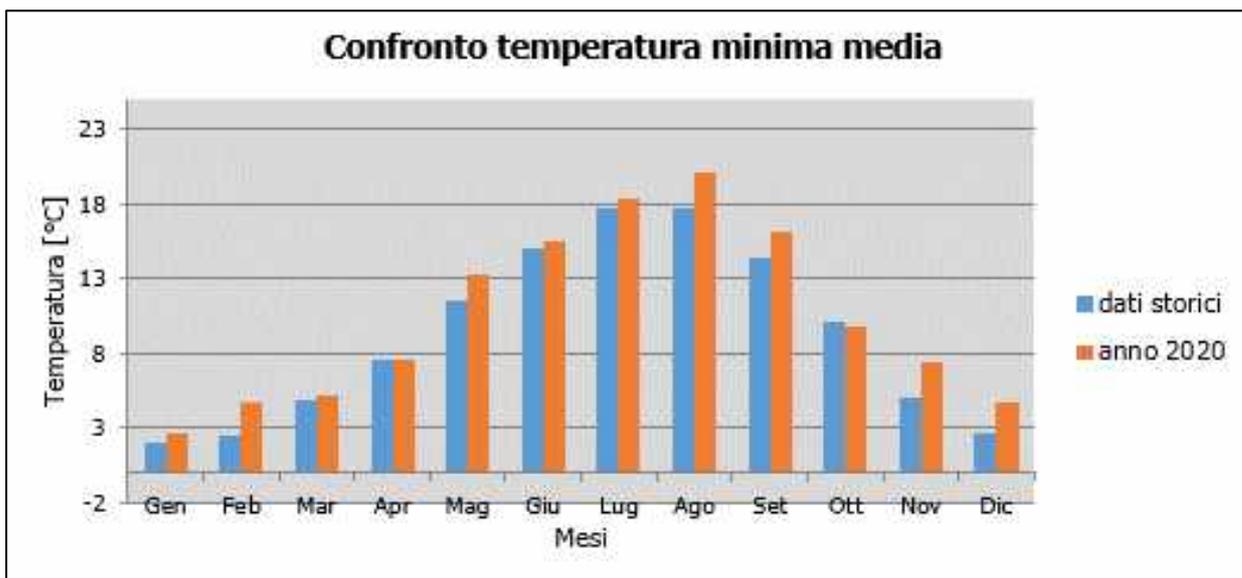


Figura 2-30 Confronto temperatura minima media (Fonte elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

Regime Anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi al vento è possibile identificarne sia la direzione sia l'entità espressa in nodi. Tale analisi, precedentemente effettuata per le tre decadi, è stata ripetuta per l'anno di riferimento in modo tale da poter effettuare un confronto.

Nella Tabella 2-12 è riportato un esempio dello studio effettuato. Essa mostra, in valori percentuali, le frequenze relative alla direzione dei venti suddivisi in tre classi di intensità. La prima classe comprende i valori dei nodi compresi tra 1 e 10, la seconda i valori tra 11 e 20 e la terza i valori superiori a 20.

Inverno 2020			
	1 ≤ N ≤ 10	11 ≤ N ≤ 20	N > 20
N	6.1	6.6	6.6
NNE	2.6	2.8	2.8
NE	5.1	5.9	5.9
ENE	5.1	5.2	5.2
E	10.6	10.6	10.6
ESE	8.5	8.7	8.7
SE	4.9	5.1	5.1
SSE	2.7	2.7	2.7
S	4.8	4.8	4.8
SSW	5.6	5.6	5.6
SW	6.9	7.5	7.5
WSW	6.1	6.3	6.3
W	9.4	9.4	9.4
WNW	5.8	5.8	5.8
NW	4.3	4.3	4.3
NNW	3.6	3.8	3.8

Tabella 2-12 Dati anemometrici - Inverno 2020

Dalle figure seguenti si può effettuare il confronto tra i dati anemometrici delle tre decadi con i dati relativi all'anno di riferimento, suddivisi per stagioni. In coerenza a quanto visto per il dato storico, la prima stagione analizzata è la stagione invernale.

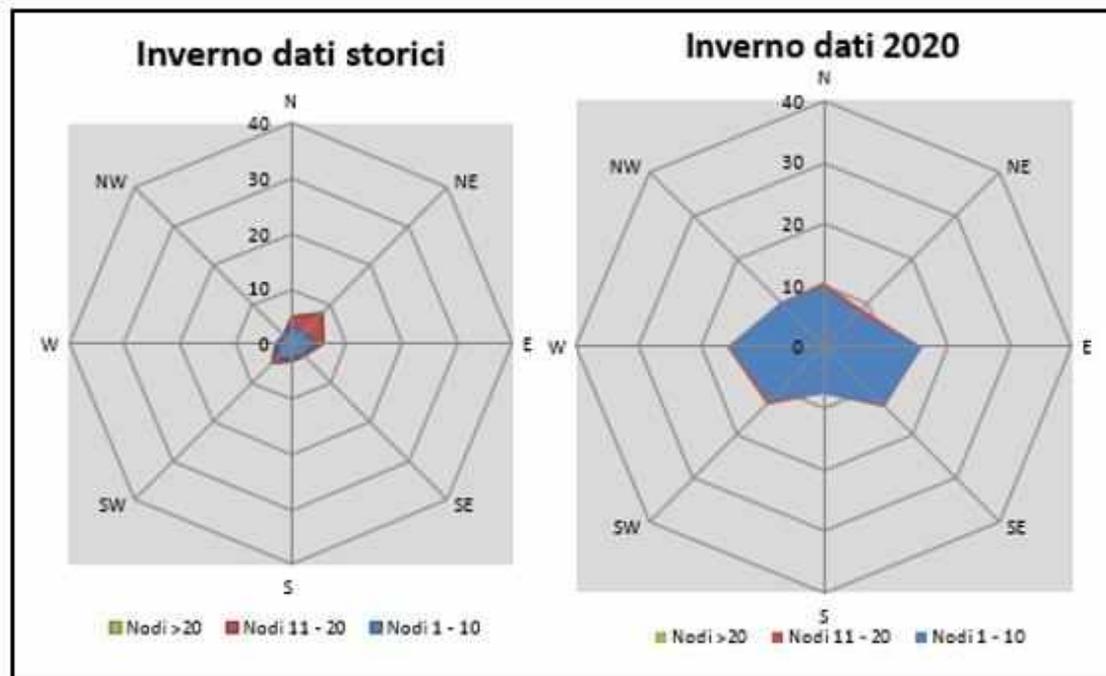


Figura 2-31 Confronto dati anemometrici stagione invernale (Fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

Dal confronto risulta come le direzioni principali dei venti sia nord-est per i dati storici, e nord ed est per i dati al 2020. Per quanto riguarda le velocità in termini di nodi, per entrambi i dati è presente una concentrazione principale nella prima e seconda classe. In linea generale è possibile affermare come vi sia una buona approssimazione del dato attuale rispetto allo storico per la stagione invernale poiché in entrambi i casi le direzioni principali sono concentrate nel primo quadrante. È bene, però, ricordare come le differenze principali possano essere ricondotte ad una differenza nella modalità di registrazione del dato storico, suddiviso in 8 classi di vento per direzione a differenza del dato attuale suddiviso in 16 classi e ricondotto in back analysis ad 8.

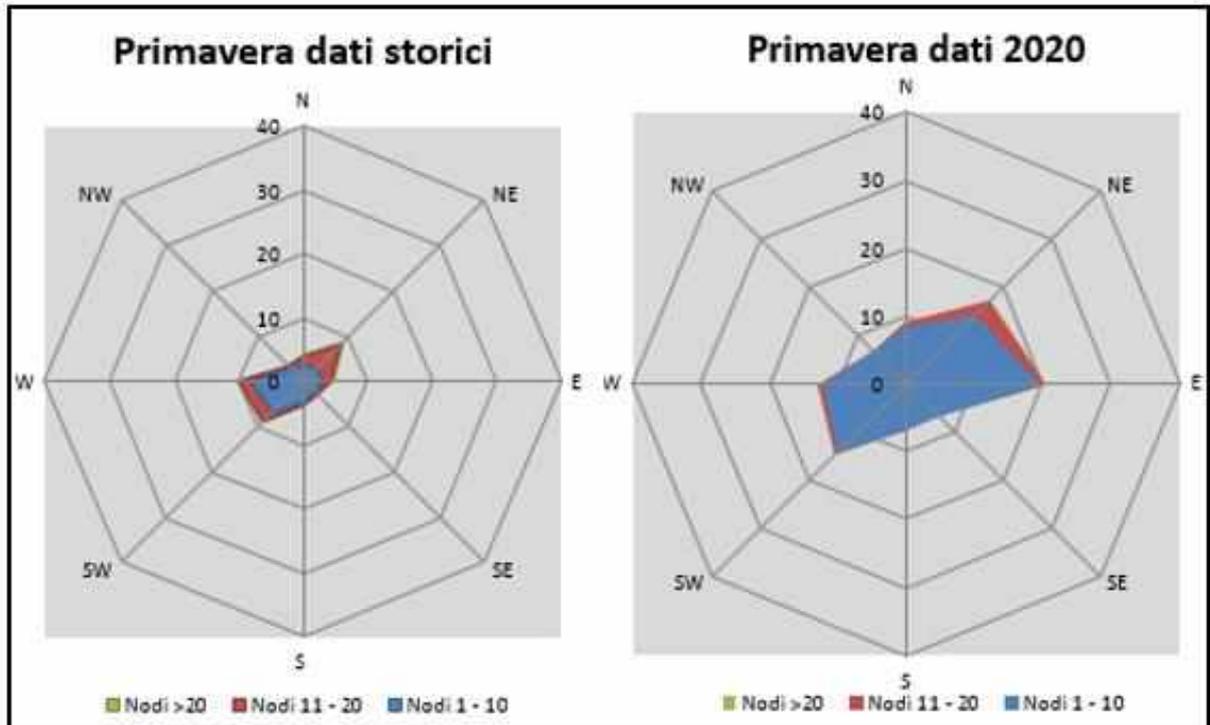


Figura 2-32 Confronto dati anemometrici stagione primaverile (Fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

Per la stagione primaverile, Figura 2-32, la direzione principale sono nord-est e sud-ovest per entrambi i casi. Ciononostante, nell'anno di riferimento risultano ancor più sviluppate la direzione est differentemente da quanto rappresentato per il dato storico. Anche in questo caso, in termini di velocità del vento non si registra una percentuale di dati nella terza classe, con specifico riferimento ai dati attuali del 2020, che riportano una prevalenza di velocità in prima e seconda classe. Anche per la stagione primaverile si registra una buona coerenza tra i due dati.

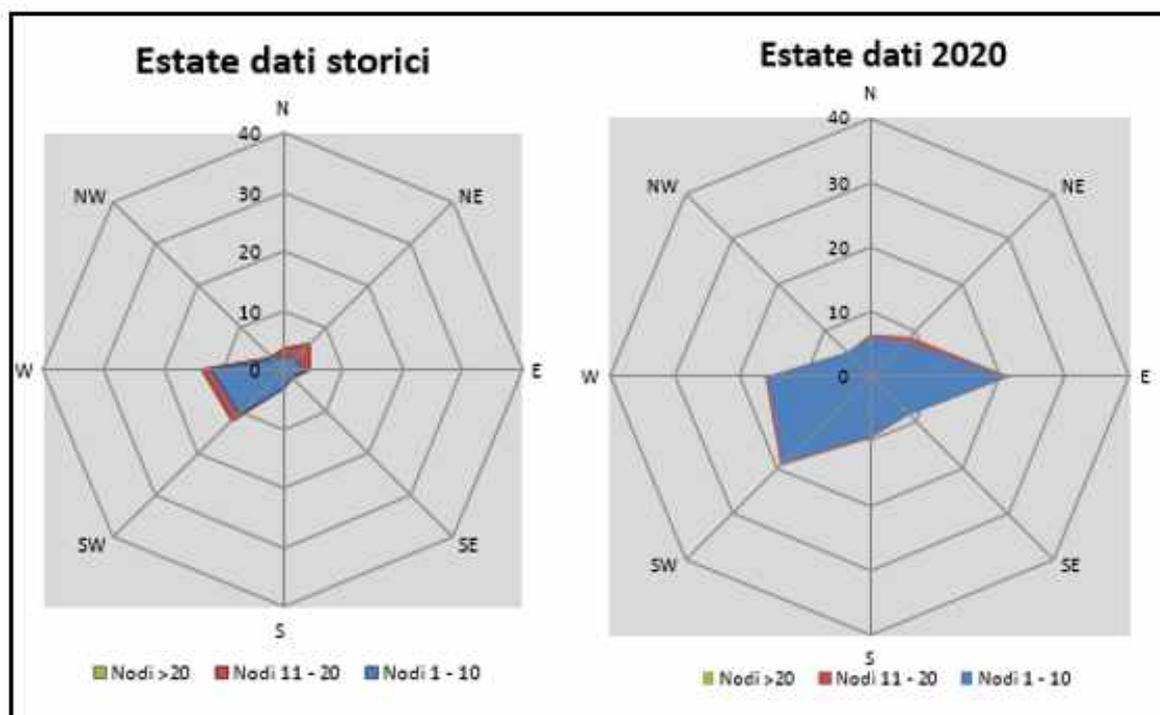


Figura 2-33 Confronto dati anemometrici stagione estiva (Fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

Nella stagione estiva Figura 2-33 la direzione principale è sud-ovest per entrambe i casi. Nell'anno di riferimento, è inoltre presente un'altra direzione prevalente che si identifica con l'est. Con riferimento all'intensità del vento, l'anno 2020 mostra un'alta percentuale di dati in classe 1 e 2 mentre il dato storico mostra una prevalenza di registrazione in classe 1, ma anche in classe 2. Coerentemente a quanto visto per la stagione primaverile, considerando la combinazione direzione ed intensità, è possibile evidenziare una buona corrispondenza tra i due dati.

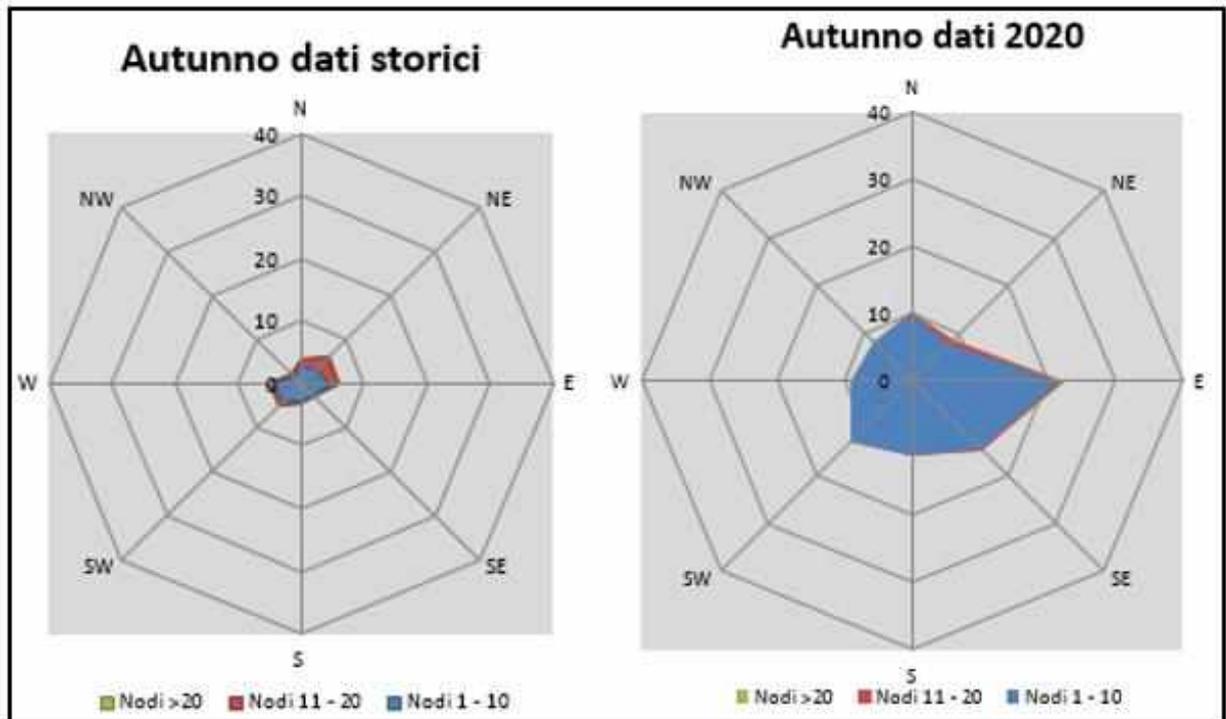


Figura 2-34 Confronto dati anemometrici stagione autunnale (Fonte: elaborazione dati della Stazione di Firenze – Aeroporto Amerigo Vespucci)

Ultimo confronto ha riguardato la stagione autunnale, così come mostrato in Figura 2-34. In entrambi i casi le direzioni prevalenti si concentrano nel primo quadrante tra nord ed est. Con riferimento all'intensità del vento per entrambi i casi è presente una concentrazione principale nella prima classe mentre la seconda è più marcata nel dato riferito al 2020.

Conclusioni

Alla luce di quanto esposto nei paragrafi precedenti in relazione all'aspetto meteorologico, è possibile evidenziare in generale, sia in termini anemometrici che termici, una buona corrispondenza del dato attuale relativo al 2020 con i dati provenienti dalle serie storiche fornite dall'Atlante Climatico per la stessa stazione meteo di riferimento. Pertanto, può essere considerato attendibile l'intervallo di analisi per l'anno 2020, che verrà di seguito adottato per le simulazioni modellistiche.

2.5 ANALISI EMISSIVA

Con riferimento all'Inventario Nazionale delle Emissioni in Atmosfera, contenuto all'interno del documento "Italian Emission Inventory 1990-2018. Informative Inventory Report 2020" realizzato dall'ISPRA, è stato possibile delineare il quadro nazionale italiano delle emissioni in atmosfera per il periodo compreso tra il 1990 ed il 2018 relativo ai seguenti inquinanti: ossidi di azoto (NO_x), e particolato (PM₁₀ e PM_{2.5}). Si riportano di seguito le emissioni prodotte dalle macro - attività considerate nell'Inventario Nazionale:

Inventario Nazionale Italiano - Emissioni 1990-2018

Emissioni di NO_x [Gg]:

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	457	344	173	118	81	52	48	46	42
Combustione piante non industriale	64	65	69	78	87	87	87	88	87
Combustione industriale	249	180	152	153	100	65	65	57	58
Processi produttivi	30	31	9	16	11	10	8	11	10
Uso di solventi ed altri prodotti	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Trasporti stradali	997	1040	776	630	430	334	320	290	291
Altre fonti mobili e macchine	261	258	260	233	183	130	127	125	128
Trattamento e smaltimento rifiuti	3	3	3	3	3	2	2	2	2
Agricoltura	62	64	64	61	50	52	54	53	51
TOTALE	2123	1987	1505	1291	945	732	712	672	669

Tabella 2-13 Emissioni nazionali di NO_x (Fonte: INEA 2020 - ISPRA)

Emissioni di PM₁₀ [Gg]:

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	45	40	18	6	3	1	1	1	1
Combustione piante non industriale	68	71	70	69	123	107	104	113	95
Combustione industriale	28	25	19	18	12	8	8	8	8
Processi produttivi	26	25	23	25	19	14	13	13	13
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
Solvente ed altri usi del prodotto	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Trasporti stradali	58	57	52	46	34	25	23	21	21
Altre fonti mobili e macchine	32	32	30	25	16	10	10	9	9
Trattamento e smaltimento rifiuti	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Agricoltura	33	33	32	30	23	23	24	23	23
TOTALE	296	290	252	227	238	194	189	196	177

Tabella 2-14 Emissioni nazionali di PM₁₀ (Fonte: INEA 2020 - ISPRA)

Emissioni di PM_{2.5} [Gg]:

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	30	28	13	4	2	1	1	1	1
Combustione piante non industriale	67	71	69	68	122	106	103	112	94

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Combustione industriale	20	18	14	14	10	6	6	6	7
Processi produttivi	15	14	12	13	11	7	7	7	7
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	0,07	0,06	0,06	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04
Solvente ed altri usi del prodotto	3	3	4	3	3	3	3	3	3
Trasporti stradali	53	51	45	39	27	18	17	15	15
Altre fonti mobili e macchine	32	32	30	25	16	10	10	9	9
Trattamento e smaltimento rifiuti	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Agricoltura	7	7	7	7	5	5	6	5	5
TOTALE	229	226	197	176	198	159	155	162	143

Tabella 2-15 Emissioni nazionali di PM_{2.5} (Fonte: INEA 2020 - ISPRA)

Considerate le emissioni prodotte nell'anno 2018 (ultimo anno disponibile) si evince che:

- per le emissioni di Ossidi di azoto (NO_x), queste sono principalmente dovute ai macrosettori «Trasporto su strada» (43,49%) e «Altre fonti mobili e macchine» (19,13%);
- per il PM₁₀, le principali fonti emmissive sono rappresentate dal macrosettore «Combustione non industriale» (53,67%) e dal macrosettore «Agricoltura» (12,99%) seguito da quello «Trasporti stradali» (11,86%);
- per il PM_{2.5}, le principali fonti emmissive sono rappresentate dal macrosettore «Combustione non industriale» (65,73%) e dal macrosettore «Trasporti stradali» (10,49%).

Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione 1995-2010 (IRSE)

Uno degli strumenti conoscitivi su cui si fonda l'operato regionale nell'ambito del processo di gestione della qualità dell'aria è l'**Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente (IRSE)**. In particolare, l'inventario delle emissioni costituisce uno degli strumenti principali per lo studio delle pressioni e dello stato della qualità dell'aria, nonché per la definizione dei relativi Piani di tutela e risanamento. L'IRSE si configura, quindi, come strumento conoscitivo indispensabile nell'ambito del Piano Ambientale Energetico Regionale (PAER) e nell'ambito del Piano Regionale sulla Qualità dell'Aria (PRQA).

Si riportano, di seguito, le informazioni relative alle fonti emmissive ricavate dall'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissioni in atmosfera (IRSE) della Regione Toscana.

Vengono quindi forniti i dati di emissione dei parametri CO, CO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} e SO_x relativi alla Regione Toscana, disaggregati per macrosettore e relativi agli anni 1995, 2000, 2003, 2005, 2007 e 2010.

Le tabelle seguenti riportano tali valori:

Macro - settore	CO (Mg/anno)	CO ₂ (Mg/anno)	NO _x (Mg/anno)	PM ₁₀ (Mg/anno)	PM _{2,5} (Mg/anno)	SO _x (Mg/anno)
01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02 Impianti di combustione non industriali	11758,9	779712,6	514,2	2162,7	2102,8	411,7
03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione	2020,7	686819,6	2106,8	95,8	63,2	1646,6
04 Processi produttivi	0,2	12978,7	17,7	270,4	84,3	34,7
05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica	0,0	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0
06 Uso di solventi	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07 Trasporti stradali	42961,2	724984,4	6761,6	474,7	434,2	573,8
08 Altre sorgenti mobili e macchine	328,0	39114,4	590,7	21,4	21,0	67,1
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10 Agricoltura	0,1	0,0	0,0	63,6	9,1	0,0
11 Altre sorgenti/Natura	323,3	4741,1	9,1	39,3	39,3	3,0
Totale	57392,5	2248362,2	10000,2	3127,9	2753,8	2736,9

Tabella 2-16 Valori di emissione regionali – anno 1995 Fonte: IRSE Regione Toscana

Macro - settore	CO (Mg/anno)	CO ₂ (Mg/anno)	NO _x (Mg/anno)	PM ₁₀ (Mg/anno)	PM _{2,5} (Mg/anno)	SO _x (Mg/anno)
01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche	2.871,7	10.573.706,8	15.675,2	1.848,1	1.414,1	66.754,7
02 Impianti di combustione non industriali	77.008,9	6.610.522,5	4.480,9	13.995,3	13.609,9	2.660,2
03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione	6.071,5	4.901.690,4	12.668,3	338,5	296,4	5.761,0
04 Processi produttivi	12.694,3	4.111.560,6	198,8	3.086,2	1.125,5	1.750,5
05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica	0,0	1.867.960,2	0,0	0,0	0,0	0,0
06 Uso di solventi	0,0	0,0	0,0	143,5	103,3	0,0
07 Trasporti stradali	300.118,3	7.564.682,9	55.575,5	4.330,5	3.902,1	1.270,6
08 Altre sorgenti mobili e macchine	2.597,2	686.048,6	10.198,4	444,3	441,5	2.277,7
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	71,5	318.750,7	570,9	12,6	12,4	347,7
10 Agricoltura	5,0	0,0	0,2	1.675,0	186,2	0,0
11 Altre sorgenti/Natura	4.249,1	62.306,3	119,1	516,2	516,2	39,7
Totale	405.687,3	36.697.228,9	99.487,4	26.390,3	21.607,6	80.862,1

Tabella 2-17 Valori di emissione regionali – anno 2000 Fonte: IRSE Regione Toscana

Macro - settore	CO (Mg/anno)	CO ₂ (Mg/anno)	NO _x (Mg/anno)	PM ₁₀ (Mg/anno)	PM _{2,5} (Mg/anno)	SO _x (Mg/anno)
01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche	2.502,8	8.912.161,6	7.457,9	689,4	519,2	20.496,0
02 Impianti di combustione non industriali	84.175,1	6.750.890,3	4.539,8	15.248,3	14.868,0	1.325,9

Macro - settore	CO (Mg/anno)	CO ₂ (Mg/anno)	NO _x (Mg/anno)	PM ₁₀ (Mg/anno)	PM _{2,5} (Mg/anno)	SO _x (Mg/anno)
03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione	5.308,1	4.784.923,4	13.440,5	173,5	164,8	3.460,0
04 Processi produttivi	25.306,9	3.881.551,7	301,7	2.879,8	805,7	2.227,2
05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica	0,0	2.081.977,9	0,0	0,0	0,0	0,0
06 Uso di solventi	0,0	0,0	0,0	71,3	55,2	0,0
07 Trasporti stradali	232.924,0	8.336.648,1	55.158,0	4.485,4	4.041,5	1.476,7
08 Altre sorgenti mobili e macchine	3.051,3	830.842,9	12.429,2	558,3	555,7	3.044,7
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	71,0	318.614,8	510,7	7,4	6,8	371,6
10 Agricoltura	66,2	0,0	3,0	986,7	128,5	0,4
11 Altre sorgenti/Natura	16.473,7	241.563,3	461,9	2.001,5	2.001,5	154,0
Totale	369.879,2	36.139.174,0	94.302,6	27.101,5	23.146,8	32.556,5

Tabella 2-18 Valori di emissione regionali – anno 2003 Fonte: IRSE Regione Toscana

Macro - settore	CO (Mg/anno)	CO ₂ (Mg/anno)	NO _x (Mg/anno)	PM ₁₀ (Mg/anno)	PM _{2,5} (Mg/anno)	SO _x (Mg/anno)
01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche	1.838,1	8.340.000,5	6.959,2	553,2	426,8	15.646,1
02 Impianti di combustione non industriali	98.251,5	7.678.542,4	5.138,1	17.813,4	17.373,0	1.307,7
03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione	6.100,1	4.965.160,3	15.756,0	207,2	201,5	2.946,5
04 Processi produttivi	29.540,2	3.808.415,8	386,7	3.266,9	965,3	1.956,1
05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica	0,0	1.936.868,6	0,0	0,0	0,0	0,0
06 Uso di solventi	0,0	0,0	0,0	35,5	31,4	0,0
07 Trasporti stradali	161.766,8	8.349.835,4	48.847,9	3.983,1	3.533,2	273,5
08 Altre sorgenti mobili e macchine	2.886,9	800.382,1	11.462,7	542,2	539,7	2.406,2
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	74,1	339.760,2	515,5	2,5	2,4	384,2
10 Agricoltura	3,3	0,0	0,2	1.449,1	152,1	0,0
11 Altre sorgenti/Natura	2.159,9	31.671,1	60,6	262,4	262,4	20,2
Totale	302.620,9	36.250.636,4	89.126,7	28.115,5	23.487,8	24.940,4

Tabella 2-19 Valori di emissione regionali – anno 2005 Fonte: IRSE Regione Toscana

Macro - settore	CO (Mg/anno)	CO ₂ (Mg/anno)	NO _x (Mg/anno)	PM ₁₀ (Mg/anno)	PM _{2,5} (Mg/anno)	SO _x (Mg/anno)
01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche	1.497,9	9.034.487,7	5.574,5	353,6	287,8	10.029,4
02 Impianti di combustione non industriali	87.671,1	6.808.457,3	4.541,3	15.882,0	15.491,5	1.035,6
03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione	5.190,1	5.428.240,0	12.189,3	134,7	126,9	2.402,1
04 Processi produttivi	12.102,3	4.316.350,2	276,0	3.514,0	1.028,3	2.194,3

Macro - settore	CO (Mg/anno)	CO ₂ (Mg/anno)	NO _x (Mg/anno)	PM ₁₀ (Mg/anno)	PM _{2,5} (Mg/anno)	SO _x (Mg/anno)
05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica	0,0	1.917.941,2	0,0	0,0	0,0	0,0
06 Uso di solventi	0,0	0,0	0,0	56,3	49,3	0,0
07 Trasporti stradali	121.673,9	8.381.262,4	44.840,9	3.568,5	3.104,8	271,0
08 Altre sorgenti mobili e macchine	2.709,9	772.229,4	11.430,6	540,2	537,5	2.727,1
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	76,8	347.198,5	498,5	3,1	3,1	399,7
10 Agricoltura	9,3	0,0	0,4	1.153,0	134,4	0,1
11 Altre sorgenti/Natura	3.272,8	47.991,2	91,8	397,6	397,6	30,6
Totale	234.203,9	37.054.157,7	79.443,2	25.603,0	21.161,1	19.089,9

Tabella 2-20 Valori di emissione regionali – anno 2007 Fonte: IRSE Regione Toscana

Macro - settore	CO (Mg/anno)	CO ₂ (Mg/anno)	NO _x (Mg/anno)	PM ₁₀ (Mg/anno)	PM _{2,5} (Mg/anno)	SO _x (Mg/anno)
01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche	1.361,3	6.397.240,1	3.721,2	168,8	141,7	4.786,2
02 Impianti di combustione non industriali	92.861,9	7.108.974,9	4.713,5	16.797,9	16.392,0	549,4
03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione	3.873,8	3.792.899,6	7.573,2	107,8	101,5	1.398,1
04 Processi produttivi	15.731,9	3.082.038,1	236,5	2.041,4	516,8	1.663,5
05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica	0,0	1.827.232,3	0,0	0,0	0,0	0,0
06 Uso di solventi	0,0	0,0	0,0	47,5	43,9	0,0
07 Trasporti stradali	97.963,8	7.771.478,6	38.714,8	3.139,3	2.663,8	49,4
08 Altre sorgenti mobili e macchine	2.588,9	736.871,6	11.022,4	387,2	385,0	525,6
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	72,1	432.412,6	526,7	2,7	2,6	380,3
10 Agricoltura	1,5	0,0	0,1	1.117,9	128,1	0,0
11 Altre sorgenti/Natura	381,0	5.587,3	10,7	46,3	46,3	3,6
Totale	214.836,3	31.154.735,0	66.519,0	23.856,6	20.421,7	9.356,0

Tabella 2-21 Valori di emissione regionali – anno 2010 Fonte: IRSE Regione Toscana

Alla luce dei dati emissivi registrati per i singoli inquinanti negli anni sopra citati, di seguito si riportano i valori sintetizzati totali delle emissioni degli inquinanti nei diversi anni. Come è possibile osservare dalla Tabella 2-22 dal 1995 al 2010 le emissioni della regione Toscana si sono ridotte notevolmente. La loro riduzione, però risulta più lineare dal 2003 al 2010: in tabella si riporta il valore percentuale di riduzione di emissioni.

Inquinanti	1995	2000	2003	2005	2007	2010	Riduzione % dal 2003 al 2010
CO (Mg/anno)	527.100,1	405.687,3	369.879,2	302.620,9	234.203,9	214.836,3	41,90%
CO₂ (Mg/anno)	34.319.796,1	36.697.228,9	36.139.174,0	36.250.636,4	37.054.157,7	31.154.735,0	13,80%
NO_x (Mg/anno)	112.380,1	99.487,4	94.302,6	89.126,7	79.443,2	66.519,0	29,50%

Inquinanti	1995	2000	2003	2005	2007	2010	Riduzione % dal 2003 al 2010
PM10 (Mg/anno)	24.746,9	26.390,3	27.101,5	28.115,5	25.603,0	23.856,6	12,00%
PM2,5 (Mg/anno)	20.348,5	21.607,6	23.146,8	23.487,8	21.161,1	20.421,7	11,80%
SOX (Mg/anno)	100.442,4	80.862,1	32.556,5	24.940,4	19.089,9	9.356,0	71,30%

Tabella 2-22 Sintesi emissioni totali regionali Fonte: IRSE Regione Toscana

Di seguito si riporta la rappresentazione grafica delle emissioni di CO, CO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} e SO_x, suddivise per macrosettore e per anno.

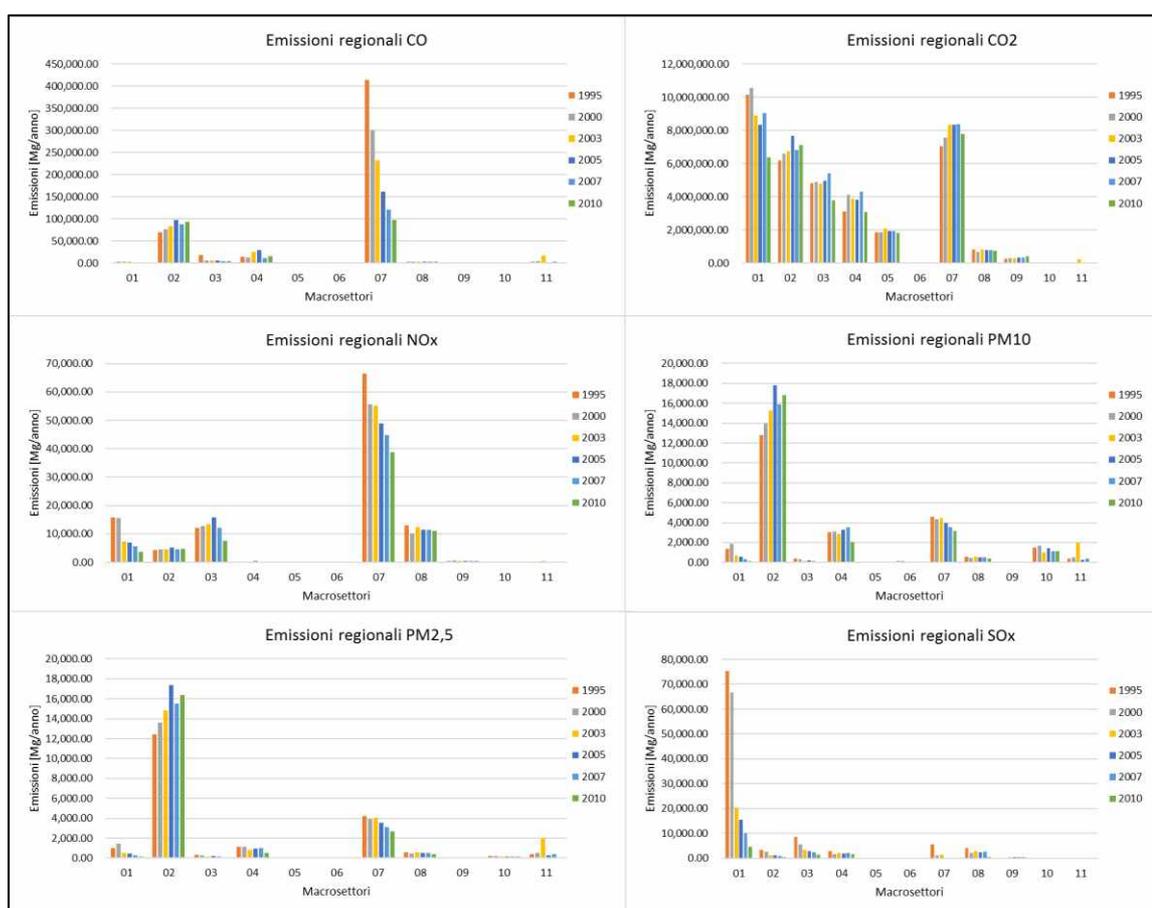


Figura 2-35 Emissioni regionali anni 1995-2000-2003-2005-2007-2010 Fonte: elaborazione dati IRSE

Inoltre, sempre con riferimento all'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente (IRSE), si riportano di seguito i dati di emissione dei parametri NO_x, PM₁₀ e PM_{2.5} relativi alla Provincia di Firenze, al 2010 (ultimo anno disponibile), da cui si evince che:

- per le emissioni di Ossidi di azoto (NO_x), la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore «Trasporti stradali» (75%);
- per il PM₁₀, le principali fonti emissive sono rappresentate dal macrosettore «Impianti di combustione non industriale» (38%) e dal macrosettore «Trasporti stradali» (34%);

- per il PM2.5, le principali fonti emissive sono rappresentate dal macrosettore «Impianti di combustione non industriale» (45%) e dal macrosettore «Trasporti stradali» (38%).

Anno 2010	NOX (Ton/anno)	PM10 (Ton/anno)	PM2,5 (Ton/anno)
01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche	0,00	0,00	0,00
02 Impianti di combustione non industriali	1.087,87	1.457,25	1.403,46
03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione	3.324,44	45,56	40,78
04 Processi produttivi	0,00	674,64	303,16
05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica	0,00	0,00	0,00
06 Uso di solventi	0,00	51,54	35,41
07 Trasporti stradali	18.559,16	1.282,93	1.175,16
08 Altre sorgenti mobili e macchine	1.663,98	69,07	68,10
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	91,61	2,11	2,11
10 Agricoltura	0,02	151,70	18,67
11 Altre sorgenti/Natura	13,05	56,54	56,54
Totale	24.740,13	3.791,34	3.103,39

Tabella 2-23 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Provincia di Firenze (Fonte: elaborazione dati "Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente (IRSE) - 2010)

Nel caso in esame, è possibile far riferimento al macrosettore «Trasporto su strada» che comprende tutte le emissioni dovute alle automobili, ai veicoli leggeri e pesanti, ai motocicli e agli altri mezzi di trasporto su strada, comprendendo sia le emissioni dovute allo scarico che quelle da usura dei freni, delle ruote e della strada.

Relativamente agli inquinanti presi come riferimento nell'analisi della componente Atmosfera, di seguito si riassumono le emissioni prodotte dal traffico veicolare nella Regione Toscana e nella Provincia di Firenze, al 2010 (ultimo anno disponibile).

Trasporto su strada	NOx [t/anno]	PM10 [t/anno]	PM2.5 [t/anno]
Regione Toscana	38714.81	3139.27	2663.79
Provincia di Firenze	18559.16	1282.93	1175.16
Contributo emissivo della Provincia sull'emissione Regionale	48%	41%	44%

Tabella 2-24 Emissioni prodotte dal traffico veicolare nella Regione Toscana e nella Provincia di Firenze

3 ANALISI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

3.1 INQUADRAMENTO PIANIFICATORIO

Programma Regionale Di Sviluppo 2016-2020 (PRS)

Il Programma Regionale di Sviluppo 2016-2020 prevede che nel corso della legislatura sia redatto il nuovo Piano regionale per la qualità dell'aria ambiente (PRQA). Le azioni che saranno messe in campo per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni inquinanti contenuti nel PRQA avranno effetti positivi anche per quanto previsto nel PRS 2016-2020, che fa propri gli obiettivi di Europa 2020 con particolare riferimento ai target di riduzione delle emissioni di gas serra, dei consumi energetici e di aumento delle fonti rinnovabili.

Il PRS 2016-2020 inoltre individua le priorità strategiche dell'azione regionale della X legislatura, attraverso la definizione di progetti regionali che rispondono a una logica di intervento sia sul versante della crescita economica che su quello della tutela sociale, con un'attenzione crescente ai temi ambientali. I progetti regionali (PR) che sviluppano interventi e azioni finalizzati al miglioramento della qualità dell'aria sono il PR 1 "Interventi per lo sviluppo della piana fiorentina", il PR 6 "Agricoltura e sviluppo rurale", il PR 7 relativa alla riqualificazione e rigenerazione urbana, il PR 13 dedicato al tema del contrasto ai cambiamenti climatici ed economia circolare ed il PR 15 "Grandi infrastrutture regionali e nazionali, accessibilità e mobilità integrata".

Piano Regionale Per La Qualità Dell'Aria Ambiente (PRQA)

Il 20 novembre 2017 con la proposta di deliberazione al Consiglio regionale n. 14, la Giunta regionale ha inviato al Consiglio regionale la proposta di Piano regionale per la qualità dell'aria ambiente (PRQA) per la sua approvazione definitiva.

Il 18 Luglio 2018 con delibera consiliare n. 72/2018, il Consiglio regionale della Toscana ha approvato il Piano regionale per la qualità dell'aria ambiente (PRQA).

Il Piano regionale per la qualità dell'aria ambiente (PRQA), previsto dalla L.R.9/2010, è l'atto di governo del territorio attraverso cui la Regione Toscana persegue in attuazione del Programma regionale di sviluppo 2016-2020 (PRS) e in coerenza con il Piano ambientale ed energetico regionale (PAER) il progressivo e costante miglioramento della qualità dell'aria ambiente, allo scopo di preservare la risorsa aria.

Anche se l'arco temporale del piano, in coerenza con il PRS 2016-2020, è il 2020, molti delle azioni e prescrizioni contenuti hanno valenza anche oltre l'orizzonte temporale sopracitato.

Sulla base del quadro conoscitivo dei livelli di qualità dell'aria e delle sorgenti di emissione, il PRQA interviene prioritariamente con azioni finalizzate alla riduzione delle emissioni di materiale particolato fine PM10 (componente primaria e precursori) e di ossidi di azoto NOx, che costituiscono elementi di parziale criticità nel raggiungimento degli obiettivi di qualità imposti dall'Unione Europea con la Direttiva 2008/50/CE e dal D. Lgs. 155/2010. Il PRQA fornisce, quindi, il quadro conoscitivo in materia di emissioni di sostanze climalteranti e, in accordo alla strategia definita dal PAER, contribuisce alla loro mitigazione grazie agli effetti che la riduzione delle sostanze inquinanti produce.

Gli **obiettivi principali del Piano** in oggetto sono di seguito riportati.

- a) portare a zero entro il 2020 la percentuale di popolazione esposta a livelli di inquinamento atmosferico superiori ai valori limite: è l'obiettivo principale che potrà essere raggiunto a valle di azioni coordinate con gli altri settori regionali e con i comuni al fine di fornire a tutti un'educazione ambientale. Si ha la necessità, quindi, di ridurre le emissioni in atmosfera in considerazione degli attuali superamenti dei limiti normativi per alcune sostanze più critiche (particolato fine - PM10, PM2.5 - e gli ossidi di azoto);
- b) ridurre la percentuale di popolazione esposta a livelli di inquinamento superiori al valore obiettivo per l'ozono: la riduzione dell'ozono rappresenta un fenomeno complesso in quanto, essendo un inquinante secondario che si genera da reazioni tra altre sostanze, è difficoltoso individuare misure utili al controllo dei livelli di concentrazione dello stesso. Per queste ragioni si dovrà agire sui precursori dell'ozono, che sono anche i precursori del PM10. Pertanto, le azioni di riduzione delle emissioni previste per l'obiettivo precedente valgono anche per il contenimento dell'ozono;
- c) mantenere una buona qualità dell'aria nelle zone e negli agglomerati in cui i livelli degli inquinamenti siano stabilmente al di sotto dei valori limite: in tali aree territoriali in cui i livelli di qualità dell'aria sono buoni, o comunque risultano essere al di sotto dei limiti normativi, si prevede l'adozione, da parte della regione, di misure atte a preservare la qualità dell'aria, coerentemente a quanto indicato dall'art. 9 comma 3 del D. Lgs. 155/2010;
- d) aggiornare e migliorare il quadro conoscitivo e diffusione delle informazioni: il continuo aggiornamento del sistema di monitoraggio della qualità dell'aria, già ottimizzato grazie alla nuova rete di rilevamento adottata con la DGR 959/2015, riveste un ruolo fondamentale per l'attuazione del PRQA e per la verifica degli effetti delle azioni previste.

Uno tra gli elementi principali del Piano è l'aggiornamento del quadro conoscitivo della qualità dell'aria nella regione Toscana. L'analisi delle caratteristiche orografiche, paesaggistiche e climatiche e delle caratteristiche legate alle pressioni esercitate sul territorio come demografia, uso del suolo ed emissioni in atmosfera ha portato alla classificazione del territorio regionale in zone ed agglomerati.

La zonizzazione, adottata con delibera di Giunta regionale n. 964 del 12 ottobre 2015, definisce le unità territoriali sulle quali viene eseguita la valutazione della qualità dell'aria ed alle quali si applicano le misure gestionali. Nella seguente Figura 3-1 è illustrata la classificazione delle zone effettuata secondo i criteri stabiliti dal D.Lgs. 155/2010: per la zonizzazione del territorio relativa agli inquinanti indicati all'allegato V del Decreto è mostrata nella Figura 1 mentre in Figura 2 viene riportata la zonizzazione relativa all'ozono (All. VII e IX del D.Lgs. 155/2010) ed è stata definita con la DGRT 1125/2010.

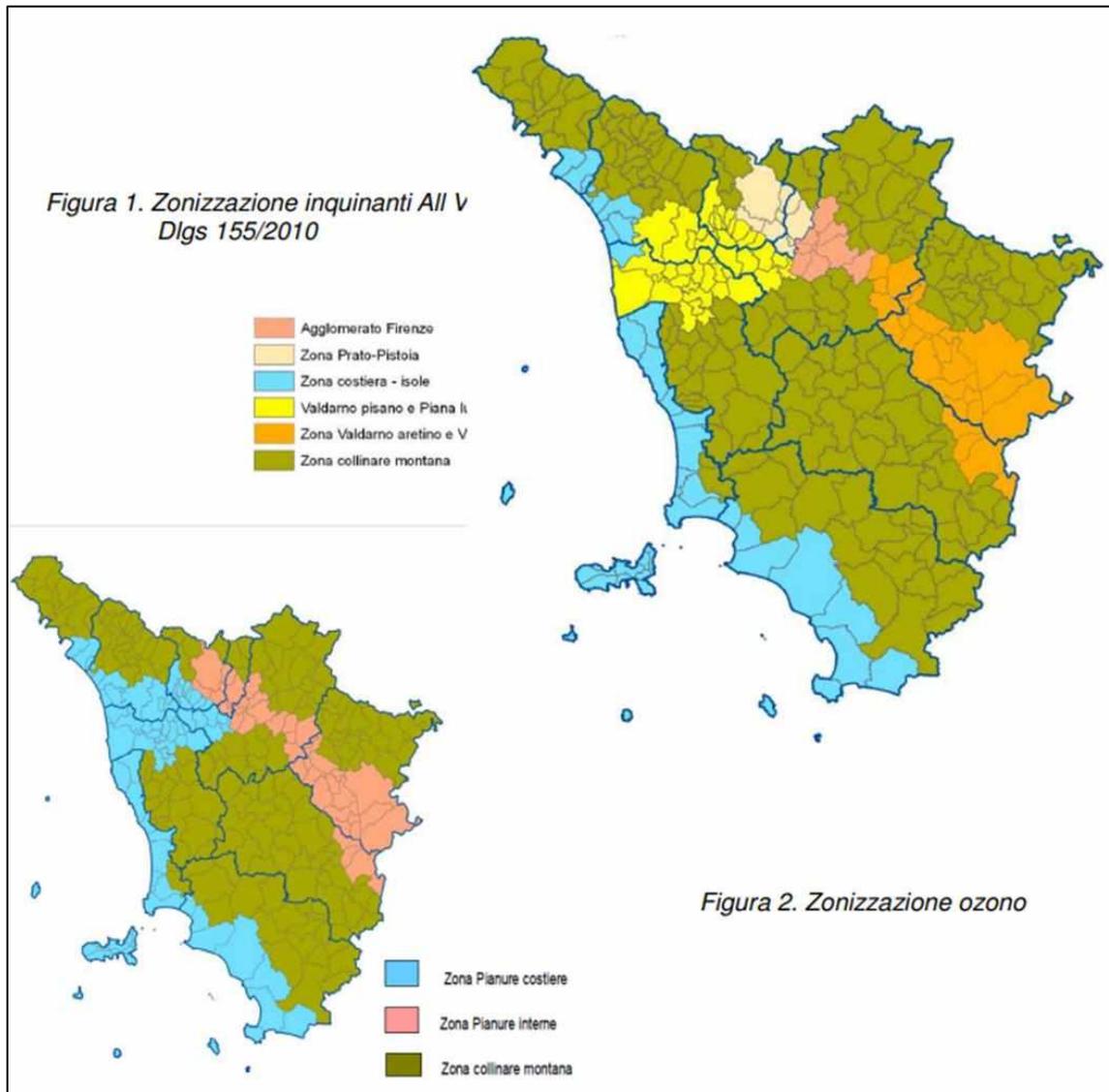


Figura 3-1 Zonizzazione territoriale fonte: Piano regionale per la qualità dell'aria ambiente (PRQA)

A seguito delle modifiche introdotte dalla DGR 964/2015 "Nuova zonizzazione e classificazione del territorio regionale, nuova struttura della rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria e adozione del programma di valutazione ai sensi della L.R. n. 9/2010 e del D.Lgs. n. 155/2010", è stato affinato il sistema regionale di rilevazione della qualità dell'aria. Sulla base della valutazione della qualità dell'aria effettuata nelle zone e negli agglomerati in cui è stato suddiviso il territorio, mediante le informazioni acquisite dalla rete regionale di rilevamento, dall'Inventario delle emissioni e delle applicazioni modellistiche predisposte dal Consorzio LaMMA e da Arpat sono state individuate le aree in cui si superano i valori limite di qualità dell'aria (DGR 1182/2015). In particolare, con la DGR 1182/2015 "Nuova identificazione delle aree di superamento dei Comuni soggetti all'elaborazione ed approvazione dei PAC e delle situazioni a rischio di superamento ai sensi della l.r. 9/2010. Revoca DGR 1025/2010, DGR 22/2011" sono state quindi individuate le aree di superamento, cioè "porzione del territorio regionale toscano comprendente parte del territorio di uno o più comuni anche non contigui, rappresentata da una stazione di misura della qualità dell'aria che ha registrato nell'ultimo quinquennio almeno un superamento del valore limite o del valore obiettivo di un inquinante".

I risultati di tale classificazione per il PM₁₀ hanno permesso di individuare 60 Comuni critici suddivisi in 10 aree di superamento. Per NO₂ sono stati individuati 16 Comuni critici suddivisi in 9 aree di superamento. I contenuti del PRQA si integrano con le linee guida per la predisposizione dei Piani di Azione Comunale (PAC), di cui alla DGR 814/2016, che i comuni ricadenti nelle aree di superamento sono tenuti ad adottare. I PAC prevedono interventi e azioni per il miglioramento della qualità dell'aria in attuazione della strategia e degli obiettivi definiti nel PRQA. In particolare, gli interventi (strutturali e contingibili) individuati nei PAC devono essere concentrati sostanzialmente nei settori per i quali il Comune ha specifiche competenze, ed in particolare:

- interventi nel settore della mobilità;
- interventi nel settore del condizionamento degli edifici e del risparmio energetico;
- interventi per l'educazione ambientale e miglioramento dell'informazione al pubblico.

Tra i comuni per i quali vengono rilevati superamenti di PM10 emerge Scandicci, comune di interesse per il caso in esame, il quale appartiene alla zona "Agglomerato di Firenze". Nel paragrafo successivo si riportano, pertanto, le misure da adottare definite all'interno del Piano d'Azione Comunale 2016-2019 dell'area fiorentina.

PAC 2016-2019 per l' "Agglomerato di Firenze"

Il PAC per l' "Agglomerato di Firenze" prende avvio dalla presa di coscienza delle pubbliche amministrazioni dei comuni di appartenenti all'area ovvero: Firenze, Bagno a Ripoli, Campi Bisenzio, Scandicci, Sesto F.no, Calenzano, Lastra a Signa e Signa, e della necessità di unire le forze per riuscire ad arginare con maggiore efficacia gli effetti dannosi dell'inquinamento dell'aria presente nell'area fiorentina.

Il PAC d'Area in esame, fortemente voluto dai predetti comuni, ha l'obiettivo di selezionare una serie di azioni multisettoriali, che siano sinergiche e coordinate tra loro, in grado di incidere sul livello di emissioni prodotte dalle attività antropiche che insistono sul territorio, consapevoli che alcuni fattori caratteristici specifici quali ad esempio orografia e condizioni climatiche, potranno ridurre l'efficacia. Il PAC in esame è stato approvato dal Consiglio Comunale con Deliberazione n. 2016/C/00053.

Il documento di piano è suddiviso in tre macro-sezioni:

- la prima contenente la descrizione del *Contesto territoriale* di base che ha portato all'elaborazione delle misure di Piano;
- la seconda contenente gli *Interventi per il mantenimento ed il risanamento della qualità dell'aria* con la descrizione delle misure da adottare per il miglioramento della qualità dell'aria;
- la terza contenente gli *Interventi strutturali* con le principali informazioni relative alle singole azioni previste.

In relazione alle misure previste per il mantenimento e miglioramento della qualità dell'aria è possibile far riferimento alle seguenti categorie:

- settore mobilità;
- settore edilizia ed energia;
- promozione accordi istituzionali;
- settore educazione e informazione ambientale.

Più specificatamente, per il settore della mobilità sono indicati i seguenti interventi:

- Misure di limitazione del traffico:
 - Istituzione di aree LEZ.
- Promozione trasporto pubblico locale:
 - Attivazione dei centri di interscambio modale per il trasporto passeggeri;
 - Agevolazioni tariffarie per l'acquisto di abbonamenti mensili del trasporto pubblico;
 - Elaborazione del piano del traffico d'area e della mobilità sostenibile;
 - Potenziamento del TPL su gomma a specifica destinazione;
 - Forme di incentivazione del TPL in occasioni di grandi eventi.
- Razionalizzazione logistica urbana e flussi di traffico:
 - Snellimento dei flussi veicolari con interventi di "traffic calming";
 - Misure inerenti al risollevarimento delle polveri dalla superficie stradale.
- Promozione mobilità pedonale e ciclabile:
 - Promozione della mobilità pedonale e ciclabile;
 - Potenziamento del servizio Pedibus per gli spostamenti casa – scuola;
 - Incentivi all'utilizzo della bicicletta per gli spostamenti casa – lavoro.
- Promozione all'uso di carburanti a basso impatto ambientale:
 - Adeguamento parco veicolare pubblico;
 - Incentivazione dell'uso di carburanti a basso impatto ambientale;
 - Promozione del car sharing;
 - Promozione del car pooling.

3.2 LA RETE DI MONITORAGGIO E LA CENTRALINA DI RIFERIMENTO

La struttura delle Rete Regionale di rilevamento della Qualità dell'Aria della Toscana è stata modificata negli anni a partire da quella descritta dall'allegato III della DGRT 1025/2010, fino alla struttura attualmente ufficiale che è quella dell'allegato C della Delibera n. 964 del 12 ottobre 2015.

Con riferimento all'ultimo rapporto annuale relativo al 2019 (*"Relazione annuale sullo stato della qualità dell'aria nella regione Toscana anno 2019"*), sono attive tutte le 37 stazioni previste dalla DGRT n. 964/2015.

La normativa sulla qualità dell'aria si fonda sul principio della classificazione del territorio in zone e agglomerati con caratteristiche omogenee.

In generale per la suddivisione del territorio regionale in zone sono state prese in considerazione:

- caratteristiche orografiche, paesaggistiche e climatiche che contribuiscono a definire "zone di influenza" degli inquinanti in termini di diffusività atmosferica;
- caratteristiche legate alle pressioni esercitate sul territorio come demografia, uso del suolo ed emissioni in atmosfera.

Per l'ozono sono invece state considerate prevalenti altre caratteristiche, legate principalmente all'altitudine e alla vicinanza alla costa, individuando così una diversa zonizzazione.

Si distinguono pertanto:

- zone individuate per tutti gli inquinanti di cui all'allegato V del D.Lgs 155/2010 (escluso l'ozono);
- zone individuate per l'ozono.

Nelle figure seguenti si riporta la suddivisione regionale in zone omogenee.

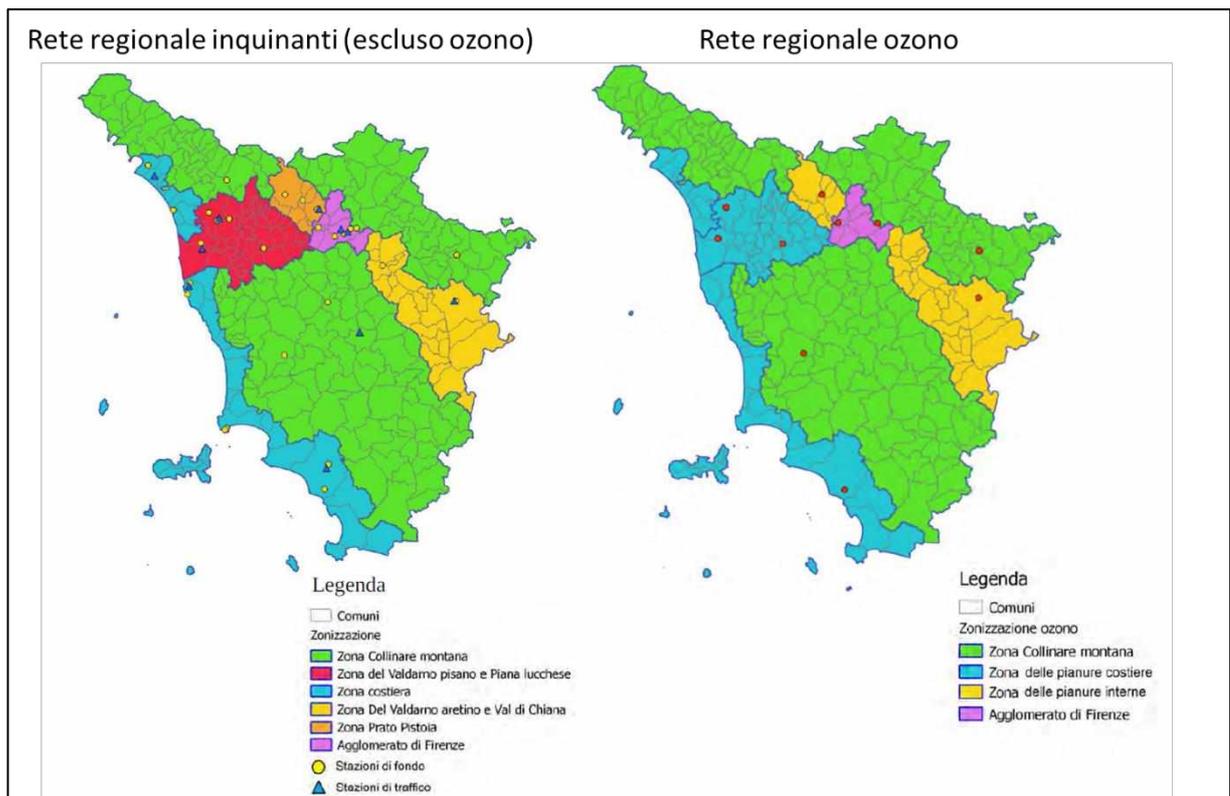


Figura 3-2 Zonizzazione territoriale – Regione Toscana Fonte: "Relazione annuale sullo stato della qualità dell'aria nella regione Toscana anno 2017"

Ogni centralina di monitoraggio della qualità dell'aria ha il compito di controllare le concentrazioni di alcuni inquinanti. I dettagli sono riportati nella figura sottostante.

Zonizzazione territorio Regione Toscana rel.inq. All V	Class. Zona e stazione	Provincia e Comune	Nome stazione	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	SO ₂ n	H ₂ S	CO	Benzene	IPA	As	Ni	Cd	Pb	O ₃	Class. Zona per Ozono	Zonizzazione territorio Regione Toscana O ₃	
Agglomerato Firenze	U	F	FI	Firenze	FI-Boboli	x													
	U	F	FI	Firenze	FI-Bassi	x	x	x	x		x	X							
	U	T	FI	Firenze	FI-Gramsci	x	x	x		x	X	X	X	X	X	X			
	U	T	FI	Firenze	FI-Mosse	x													
	U	F	FI	Scandicci	FI-Scandicci	x													
	U	F	FI	Signa	FI-Signa	x											x	U	
Zona Prato Pistoia	S	F	FI	Firenze	FI-Settignano											x	S		
	U	F	PO	Prato	PO-Roma	x	x	x			x	X							
	U	T	PO	Prato	PO-Ferucci	x	x	x		x									
	U	F	PT	Pistoia	PT-Signorelli	x												X	S
Zona Valdarno aretino e Valdichiana	S	F	PT	Montale	PT-Mortale	X	X	X									X	S	
	U	F	AR	Arezzo	AR-Acropoli	X	X	X									X	S	
Zona costiera	U	F	FI	Figline ed Incisa Valdarno	FI-Figline	x													
	U	T	AR	Arezzo	AR-Repubblica	X			X										
	U	F	GR	Grosseto	GR-URSS	x	x	x											
	U	T	GR	Grosseto	GR-Sonnino	x													
	R	F	GR	Grosseto	GR-Maremma											x		R	
	U	F	LI	Livorno	LI-Cappiello	X	X	X											
	U	F	LI	Livorno	LI-Via La Pira	X	X	X	X		X	X	X	X	X				
	U	T	LI	Livorno	LI-Carducci	X	X	X		X									
	U	F	LI	Piombino	LI-Parco 8 Marzo	X					X	X	X	X	X				
	S	I	LI	Piombino	LI-Cotone	X				X	X	X							
Zona Valdarno pisano e Piana lucchese	U	F	MS	Carrara	MS-Colombarotto	X													
	U	T	MS	Massa	MS-Marina vecchia	X	X	X											
	U	F	LU	Viareggio	LU-Viareggio	X	X	X											
	U	F	LU	Capannori	LU-Capannori	X	X	X	X										
	U	F	LU	Lucca	LU-San Concordio	X					X	X							
	U	T	LU	Lucca	LU-Micheletto	X													
Zona collinare e montana	R	F	LU	Lucca	LU-Carignano												x	S	
	U	F	PI	Pisa	PI-Passi	X	X	X									x	S	
	U	T	PI	Pisa	PI-Borghetto	X	X	X		X									
	S	F	PI		PI-Santa Croce(1)	X			X	X							x	S	
	U	F	SI	Poggibonsi	SI-	X	X	X											
	U	T	SI	Siena	SI-Bracci	X				X									
	S	F	PI	Pomarance	PI-Montecorboli (1)	X		X	X			X					x	S	
	U	F	LU	Bagni di Lucca	LU-Fornoli	x													
R reg	F	AR	Chitignano	AR-Casa Stabbi	X			X								x	R		

Figura 3-3 Caratteristiche centraline di monitoraggio - Regione Toscana Fonte: "Relazione annuale sullo stato della qualità dell'aria nella regione Toscana anno 2019"

Con riferimento al progetto in esame, la zona in cui ricade l'intervento è "Agglomerato di Firenze".

Attualmente, la rete regionale nell'Agglomerato di Firenze prevede:

- un totale di quattro postazioni di fondo urbano. Le prime due, Boboli e Bassi, situate nel comune di Firenze, dedicate, al prima al solo monitoraggio del parametro PM₁₀ e la seconda anche del PM_{2,5}, NO₂ ed SO₂, Benzene ed IPA. Altre due sono collocate nei comuni di Scandicci e Signa e si occupano del monitoraggio dei parametri PM₁₀, PM_{2,5} in aggiunta a quelli precedentemente menzionati. Mentre i valori di Ozono vengono registrati solo dalla stazione di Signa;
- due stazioni di traffico urbano all'interno del comune di Firenze, denominate Mosse e Gramsci, la prima per il rilevamento di PM₁₀ ed NO₂, la seconda in grado di rilevare i parametri di PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, CO, benzene, IPA, As, Ni, Cd e Pb.
- una stazione di fondo suburbana situata presso Settignano nel comune di Firenze, adibita al rilevamento dell'ozono e dell'NO₂;



Figura 3-4 Localizzazione centraline qualità dell'aria dell'Agglomerato di Firenze

In termini di vicinanza all'intervento ed in relazione alla tipologia di centralina, si è scelto di far riferimento per la qualità dell'aria di fondo, alla **centralina FI – Scandicci**. I dati di concentrazione di PM_{10} ed NO_2 registrati da questa centralina al 2019 verranno utilizzati come valori di fondo della qualità dell'aria, a valle di un'analisi relativa al trend storico degli inquinanti di interesse che ne testimoni l'attendibilità. Si sottolinea che i dati relativi al 2020, ovvero l'ultimo anno disponibile, non sono stati presi in considerazione, poiché le misure messe in atto dal Governo Italiano durante l'attuale pandemia hanno influito significativamente sulla riduzione della mobilità e conseguentemente sui valori delle concentrazioni di inquinanti registrati, rendendoli non rappresentativi.

3.3 ANALISI DEGLI INQUINANTI MONITORATI

Ossidi e Biossidi di Azoto

Caratteristiche ed effetti sull'uomo e sull'ambiente

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO_2).

Durante le combustioni l'azoto molecolare (N_2) presente nell'aria, che brucia insieme al combustibile, si ossida a monossido di azoto (NO). Nell'ambiente esterno il monossido si ossida a biossido di azoto (NO_2), che è quindi un inquinante secondario, poiché non viene emesso direttamente. Il biossido di azoto è "ubiquitario" ciò significa che si ritrova in atmosfera un po' ovunque, con concentrazioni abbastanza costanti.

L'ossido di azoto (NO), anche chiamato ossido nitrico, è un gas incolore, insapore ed inodore con una tossicità limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole. Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo - rosso, dall'odore forte e pungente e con grande

potere irritante. Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto all'elevata presenza di questo gas. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi tra cui l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso e gli alchilnitrati. Da notare che gli NO_x vengono per lo più emessi da sorgenti al suolo e sono solo parzialmente solubili in acqua, questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente bassa. A causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante, in quanto risulta molto più tossico del monossido.

Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni delle funzioni polmonari, di bronchiti croniche, di asma e di enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica riduzione delle difese polmonari, con conseguente aumento di rischio di infezioni alle vie respiratorie soprattutto in soggetti bronchitici ed asmatici, negli anziani e nei bambini.

L'inquinamento da biossido di azoto ha un impatto sulla vegetazione di minore entità rispetto al biossido di zolfo. In alcuni casi, brevi periodi di esposizione a basse concentrazioni possono incrementare i livelli di clorofilla, mentre lunghi periodi possono causare la senescenza e la caduta delle foglie più giovani.

Il meccanismo principale di aggressione comunque è costituito dall'acidificazione del suolo: gli inquinanti acidi causano un impoverimento del terreno per la perdita di ioni calcio, magnesio, sodio e potassio e conducono alla liberazione di ioni metallici tossici per le piante. Inoltre, l'abbassamento del pH compromette anche molti processi microbici del terreno, fra cui l'azotofissazione.

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

Concentrazioni di NO_x

Tramite i dati della centralina di Firenze – Scandicci è stato possibile analizzare l'evoluzione negli anni dell'inquinante NO_x, in particolare è stato preso in considerazione un intervallo temporale di 5 anni, dal 2015 al 2019. Nella tabella sottostante sono riportati tutti i valori calcolati per l'NO_x nei diversi anni.

Anno	Percentili							Max	Media
	min	0.5	0.8	0.85	0.9	0.95	0.99		
2015	0,00	35,00	82,00	100,00	130,00	178,00	280,73	729,00	55,15
2016	3,00	34,00	87,00	108,00	139,00	195,00	313,00	622,00	57,46
2017	3,00	30,00	74,00	95,00	125,00	181,00	307,60	650,00	52,86
2018	2,00	28,00	69,00	88,00	118,00	173,00	293,12	511,00	49,32
2019	0,0	27,0	63,0	79,0	101,0	143,0	240,4	371,0	44,20

Tabella 3-1 Analisi dei percentili NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) negli anni 2015-2019 – Centralina di Firenze – Scandicci (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Al fine di agevolare la lettura del dato tabellare sono stati quindi elaborati i grafici mostrati nella Figura 3-5 e Figura 3-6. In particolare, la Figura 3-5 riporta l'analisi della distribuzione dei percentili. Quello che è possibile evidenziare è come, le diverse distribuzioni annuali non si discostino in modo significativo e che i valori risultino essere coerenti tra loro per le varie annualità.

Effettuando un'analisi storica di tali valori è emerso che, per i valori massimi di tale inquinante, si ha un picco nel 2015, con un valore di $729 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione media risulta essere in costante decrescita a partire dal 2016 nelle successive annualità, con un valore minimo raggiunto nel 2019 di circa $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

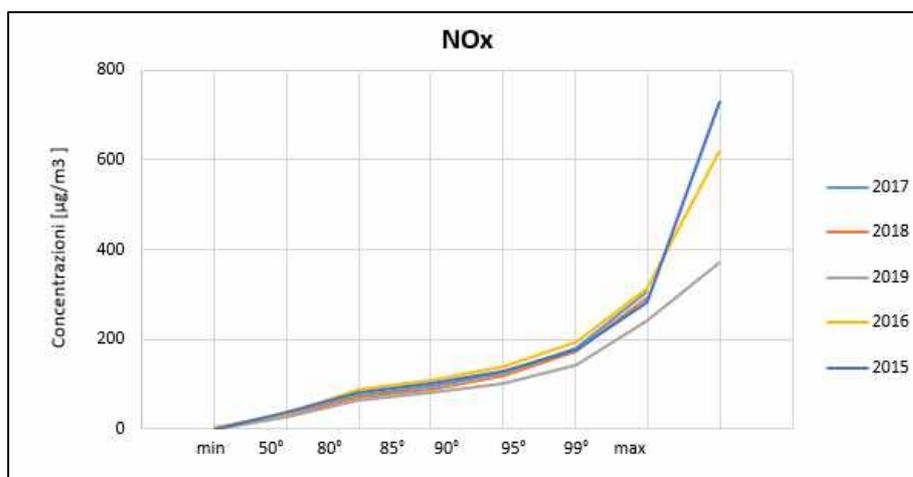


Figura 3-5 Percentili e valori massimi annuali NOx (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

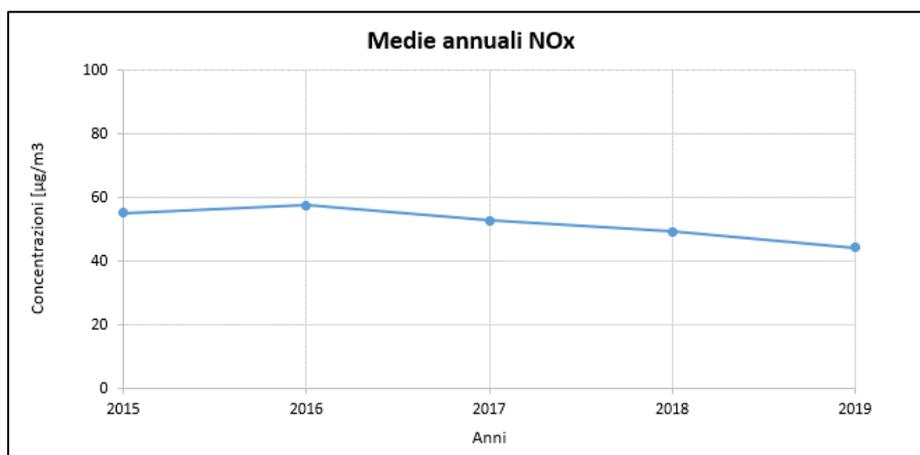


Figura 3-6 Medie annuali NOx (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Vengono, inoltre, presentati tutti i valori registrati, ora per ora, di tutti gli anni analizzati, 2015-2019, degli Ossidi di Azoto. Dai grafici si può notare un trend pressoché costante all'interno dell'arco temporale di riferimento, caratterizzato da massimi nel periodo invernale e minimi nel periodo estivo (cfr. Figura 3-7).

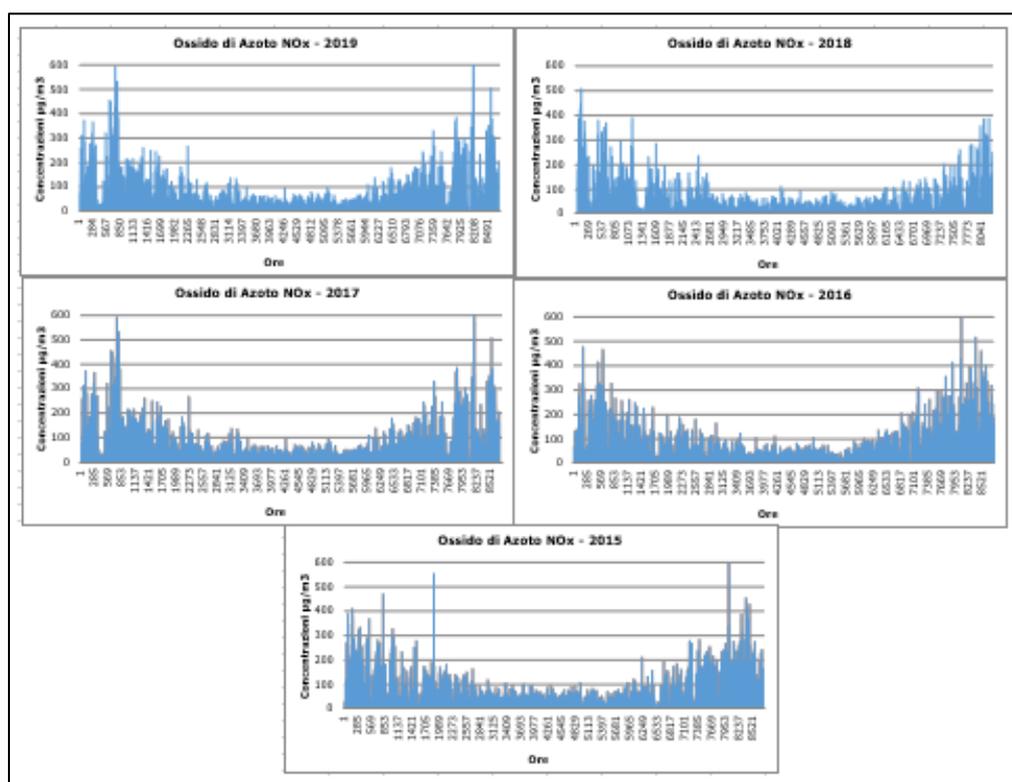


Figura 3-7 Valori orari di NOx anni 2015-2019 Centralina di Firenze – Scandicci (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Concentrazioni di NO₂

I soli NO_x, tuttavia, non forniscono dati sufficienti ad un'analisi completa del territorio e soprattutto non verificano i limiti normativi sulla salute umana. Pertanto, è stato condotto uno studio analogo anche sul Biossido di Azoto NO₂. Sono stati riassunti, nella Tabella 3-2 i dati presenti per il Biossido di Azoto dei 5 anni rilevati.

Anno	Percentili							Max	Superamenti	Media
	min	0.5	0.8	0.85	0.9	0.95	0.99			
2015	2,00	26,00	46,00	51,00	58,00	68,00	86,00	122,00	0,00	29,91
2016	1,00	24,00	43,00	49,00	54,00	63,00	81,11	116,00	0,00	27,89
2017	2,00	24,00	44,00	49,00	57,00	68,00	86,00	121,00	0,00	28,31
2018	1,00	22,00	41,00	47,00	53,00	63,00	80,00	109,00	0,00	26,48
2019	0,00	21,00	40,00	45,00	50,00	60,00	82,00	108,00	0,00	25,52

Tabella 3-2 Analisi dei percentili NO₂ (µg/m³) negli anni 2015-2019 – Centralina di Firenze - Scandicci (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

In analogia a quanto visto per gli NO_x, rappresentando in forma grafica tali valori è possibile ottimizzare la lettura del dato. Il primo grafico proposto (cfr. Figura 3-8) permette di notare come, coerentemente all'analisi degli ossidi di azoto, non si abbiano differenze marcate nelle diverse distribuzioni annuali.

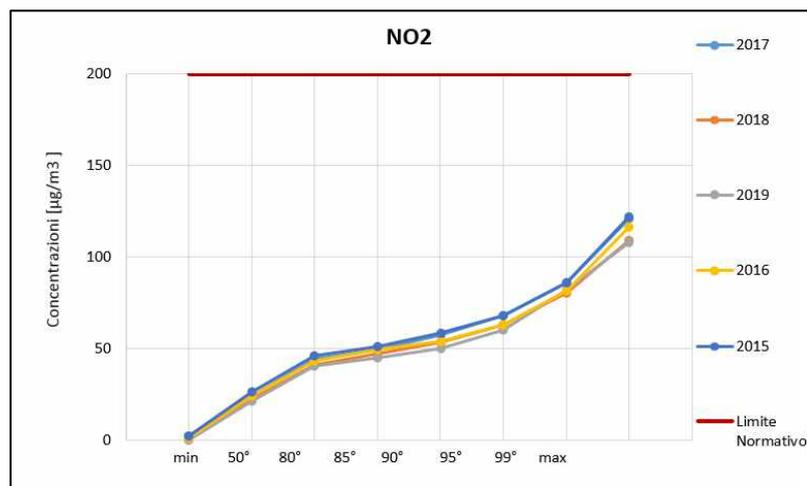


Figura 3-8 Percentili e valori massimi annui NO2 (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Per quanto riguarda le concentrazioni medie (cfr. Figura 3-9), si può notare come col passare degli anni il trend sia piuttosto costante, registrando un valore medio di circa 27 µg/ m³.

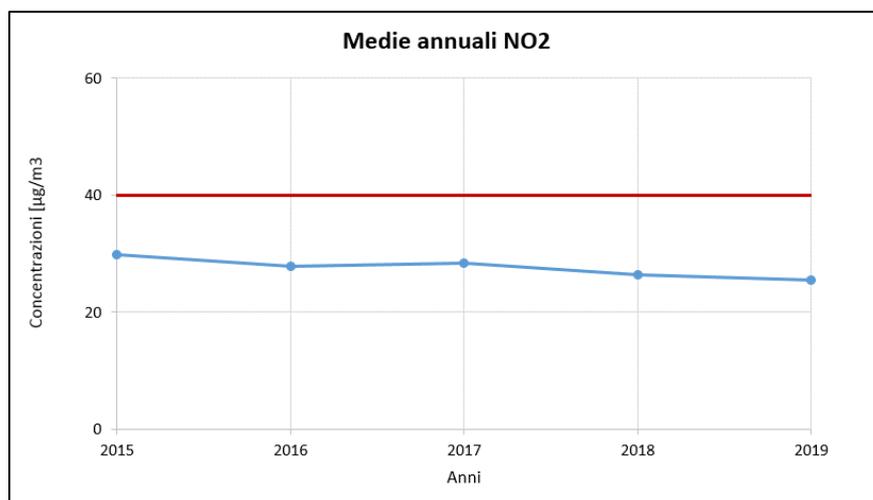


Figura 3-9 Medie annuali NO2 – confronto con limite normativo (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Sono stati, inoltre, presentati i valori registrati, ora per ora, di tutti gli anni analizzati, 2015-2019, dei Biossidi di Azoto. Si nota come i valori orari abbiano un trend piuttosto costante nell'arco temporale preso in considerazione (cfr. Figura 3-10).

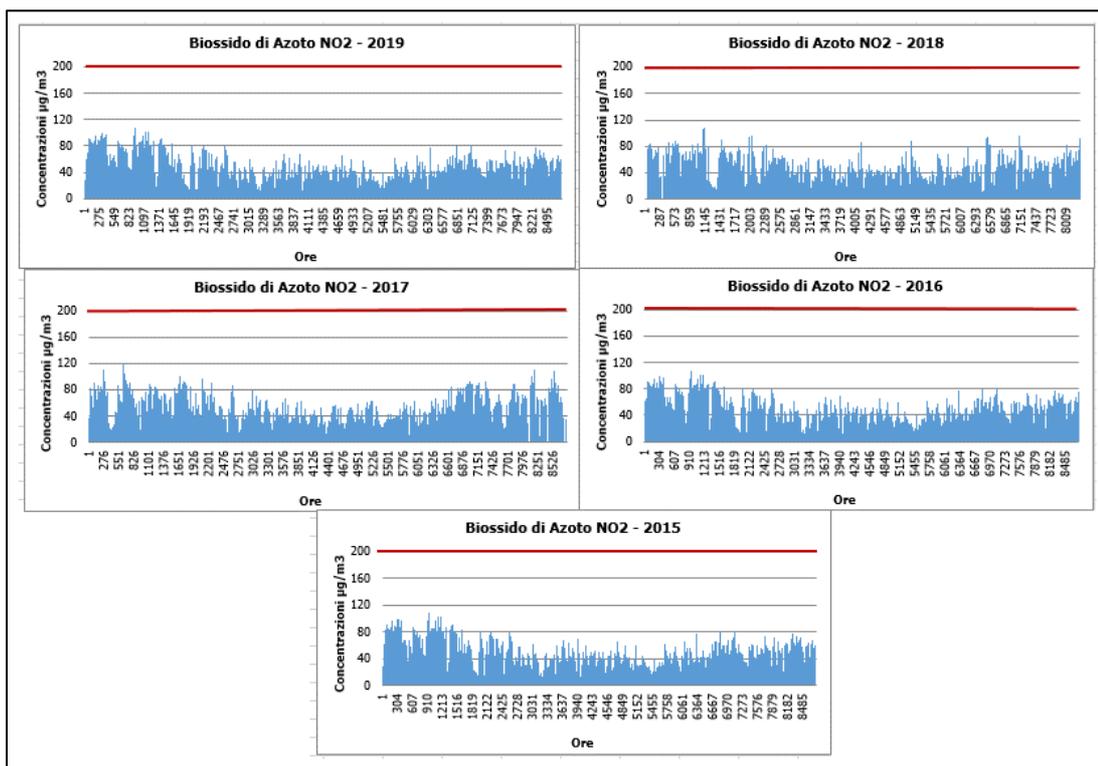


Figura 3-10 Valori orari di NO₂ anni 2015-2019 Centralina di Firenze - Scandicci (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Relazione NO_x – NO₂

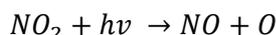
Il dato di partenza delle analisi, con particolare riferimento a quanto calcolato attraverso i modelli di analisi diffusionale degli inquinanti, è relativo agli ossidi di azoto NO_x. Con tale termine generalmente vengono indicate le due componenti più importanti, ovvero l'ossido di azoto NO ed il biossido di azoto NO₂.

Tali ossidi sono prodotti dal processo di combustione e dipendono fortemente dalla temperatura e dalla presenza di ossigeno durante la combustione. In termini generali la produzione primaria di ossidi di azoto da combustione è perlopiù composta da ossido di azoto (90%) e solo da una quota parte di biossido di azoto (10%). Tuttavia, una volta emesso in atmosfera, l'NO prodotto nei processi di combustione si può convertire in NO₂, costituendo così una produzione secondaria di biossido di azoto, nonché producendo ozono.

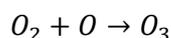
L'insieme di reazioni chimiche che intervengono nella trasformazione di NO in NO₂ è detto ciclo fotolitico.

Tale ciclo può essere schematizzato dalle seguenti reazioni.

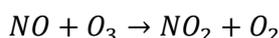
L'NO₂ prodotto nelle ore diurne assorbe energia dalle radiazioni UV, scindendosi in una molecola di NO ed in atomi di ossigeno reattivi



Gli atomi di ossigeno altamente reattivi si combinano con le molecole di O₂ dando origine all'ozono O₃



L'O₃ reagisce con l'NO per formare nuovamente NO₂ e O₂



Le reazioni sin qui esposte rappresentano un ciclo che a sua volta rappresenta solo una quota parte delle reazioni chimiche che hanno luogo nella parte inferiore dell'atmosfera. Gli idrocarburi presenti in aria interferiscono nel ciclo, favorendo la conversione di NO in NO₂ in maniera più rapida rispetto al processo inverso, favorendo così l'accumulo di NO₂ e O₃ in atmosfera. Allo stesso modo andrebbero poi considerate le interazioni tra tali gas e l'umidità atmosferica, la quale porterebbe alla produzione acido nitrico e di nitrati.

Come descritto il processo di trasformazione da ossidi di azoto in biossido di azoto (inquinante rispetto al quale è possibile effettuare un confronto con i limiti normativi) è molto complesso e dipende da molte variabili.

Per stimare tali valori esistono alcune leggi di correlazione empirica che permettono di valutare la quota parte di ossidi di azoto che si trasforma in biossido di azoto. Ai fini delle simulazioni modellistiche effettuate nel presente studio, è stata utilizzata come stima per la determinazione delle concentrazioni di biossido di azoto l'equazione polinomiale riportata nell'articolo scientifico "ARM2 Method to estimate NO₂ Air Concentration by using NO_x Air Concentrations obtained by air pollution models: verification and adaptation by using air quality network of Tuscany data". Nello specifico, la curva di interpolazione riportata nel citato articolo scientifico, si basa sul rapporto tra le concentrazioni di NO₂ e NO_x, definito tramite l'analisi delle misure registrate dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria della regione Toscana. In particolare, il dataset utilizzato per la stima del rapporto NO₂/NO_x include:

- La totalità delle concentrazioni orarie di NO₂ e NO_x registrate da tutte le stazioni situate nella Regione Toscana dal 2007 al 2016
- Le concentrazioni orarie di NO₂ e NO_x registrate tra il 1999 e il 2006 da tutte le stazioni della Regione Toscana con valori di concentrazioni orarie di ossidi di azoto maggiori di 300 µg/ m³.

Il dataset di partenza ha permesso di definire la seguente equazione polinomiale di quinto grado:

$$R_{median} = 6.0635E-15x^5 - 5.8028E-12x^4 - 5.1576E-9x^3 + 9.2741E-6x^2 - 4.7886E-3x + 1.2647$$

Dove R_{median} è il rapporto NO₂/NO_x e l'incognita x rappresenta la concentrazione oraria di NO_x

Dunque, l'equazione utilizzata per la stima delle concentrazioni orarie NO₂ di è la seguente:

$$NO_2 = 6.0635E-15NO_x^6 - 5.8028E-12NO_x^5 - 5.1576E-9NO_x^4 + 9.2741E-6NO_x^3 - 4.7886E-3NO_x^2 + 1.2647 NO_x$$

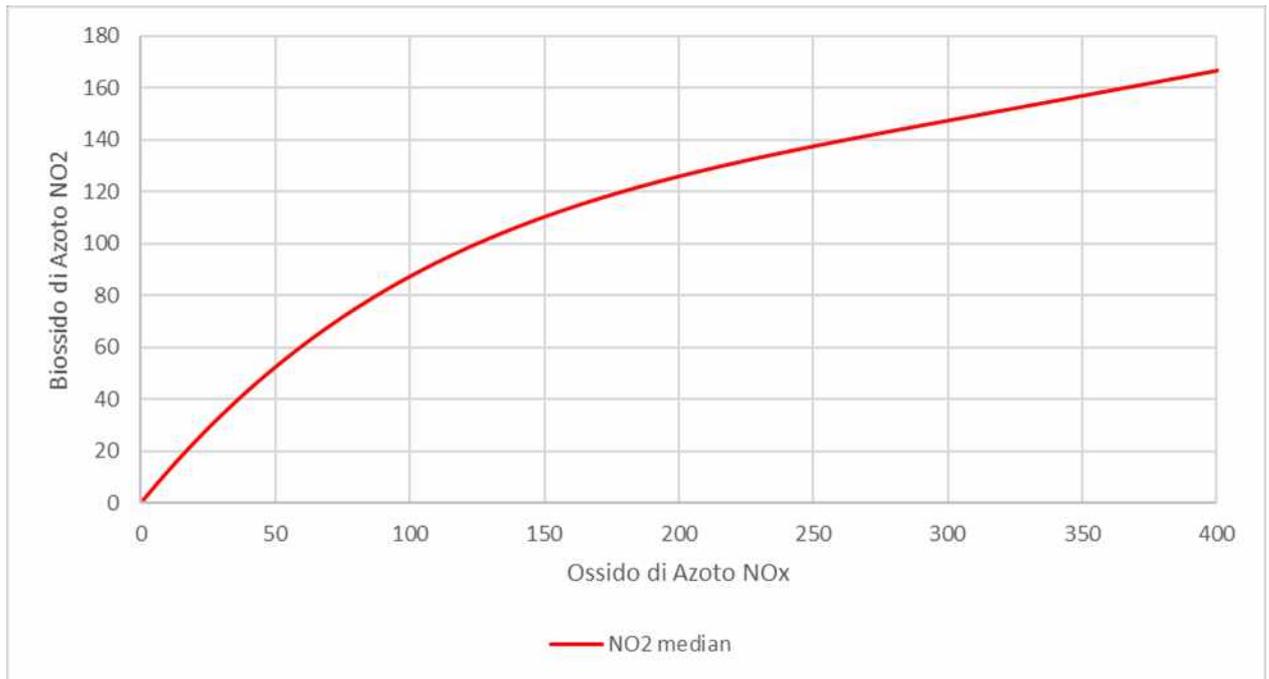


Figura 3-11 Nuvola di punti concentrazioni NOx e NO2 medie orarie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e curva di correlazione

Particolato

Caratteristiche ed effetti sull'uomo e sull'ambiente

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

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

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

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

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

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

Le polveri PM10 rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a $10 \mu\text{m}$ e vengono anche dette polveri inalabili perché sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe). Una frazione di circa il 60% di queste è costituita dalle polveri PM2,5 che rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a $2,5 \mu\text{m}$. Le PM2,5 sono anche dette polveri respirabili perché possono penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari).

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

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

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

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

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

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

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

Gli effetti del particolato sul clima della terra sono invece piuttosto discussi; sicuramente un aumento del particolato in atmosfera comporta una diminuzione della temperatura terrestre per un effetto di riflessione e schermatura della luce solare, in ogni caso tale azione è comunque mitigata

dal fatto che le particelle riflettono anche le radiazioni infrarosse provenienti dalla terra.

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

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

Concentrazioni di PM₁₀

Per analizzare i valori di concentrazione del PM₁₀ sono stati visionati i dati registrati dalla centralina di Firenze - Scandicci nello stesso arco di riferimento delle analisi effettuate per gli ossidi di azoto, ossia dal 2015 al 2019. Tali dati hanno permesso di comprendere l'evoluzione, in questo arco temporale, dell'inquinante.

Nella Tabella 3-3 sono stati riassunti i dati relativi all'inquinante PM₁₀ per gli anni rilevati, dalla quale emerge che per ogni annualità in analisi si sono verificati dei superamenti del limite normativo. Gli anni più critici da questo punto di vista sono stati sicuramente il 2017 e 2016 in cui si sono registrati 15 superamenti.

Anno	Percentili							Max	Media	Supera- menti
	min	0.5	0.8	0.85	0.9	0.95	0.99			
2015	2,00	21,00	31,00	36,00	38,00	47,00	72,00	102,00	23,16	10,00
2016	3,00	18,00	26,00	32,00	37,00	49,45	74,43	102,00	21,13	15,00
2017	0,00	20,00	27,00	29,00	34,60	47,90	71,38	117,00	21,73	15,00
2018	0,00	20,00	28,00	30,00	33,00	41,00	59,20	82,00	21,42	7,00
2019	2,00	17,00	26,00	30,00	35,30	44,00	68,29	85,00	20,48	12,00

Tabella 3-3 Analisi dei percentili PM10 (µg/m³) negli anni 2015-2019 – Centralina di Firenze – Scandicci (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

La sintesi di questi dati, attraverso i grafici di seguito riportati, permette una lettura più chiara dell'andamento nel tempo del PM₁₀.

Quello che è possibile evidenziare è come le diverse distribuzioni annuali si discostino, seppur in modo marginale, solo nell'ultima parte della distribuzione (ovvero per poche ore all'anno). Le differenze più marcate si possono notare, infatti, a partire dal 95° percentile fino ai valori massimi. Tuttavia, è altresì evidente che il trend di crescita assume comunque un andamento coerente e simile in ogni caso.

Effettuando un'analisi storica di tali valori è emerso che, per i valori massimi di tale inquinante, si ha un picco nel 2017, con un valore di 117 µg/m³. Mentre, nello stesso anno e nel 2018 la centralina ha registrato un valore minimo assoluto pari a 0 µg/m³.

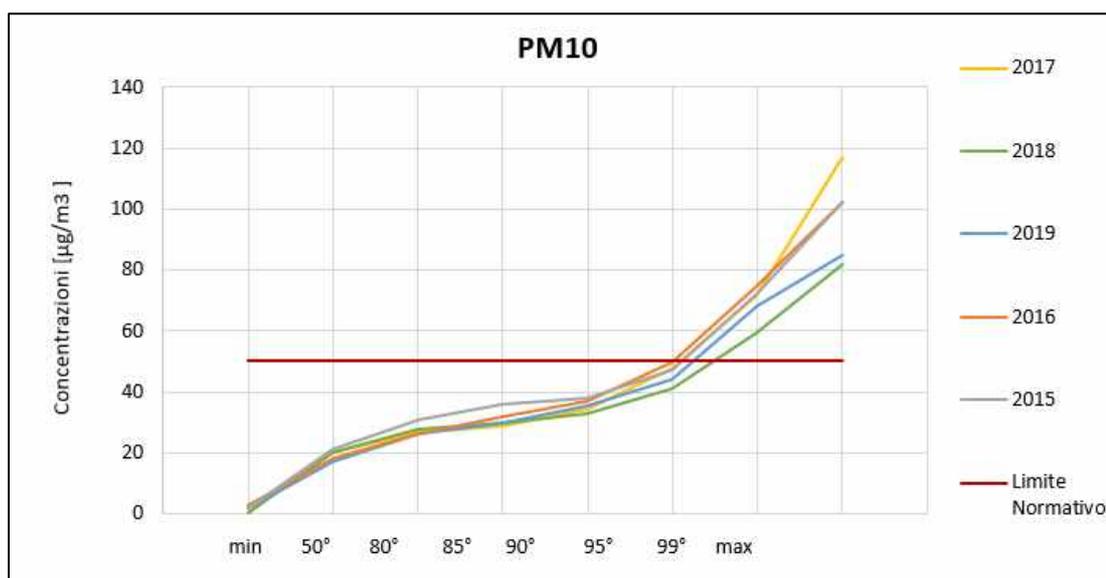


Figura 3-12 Percentili e valori massimi annui PM10 (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

In Figura 3-13, si può notare come il valore medio risulta essere pressoché costante negli anni, registrando un valore medio di circa 22 µg/ m³.

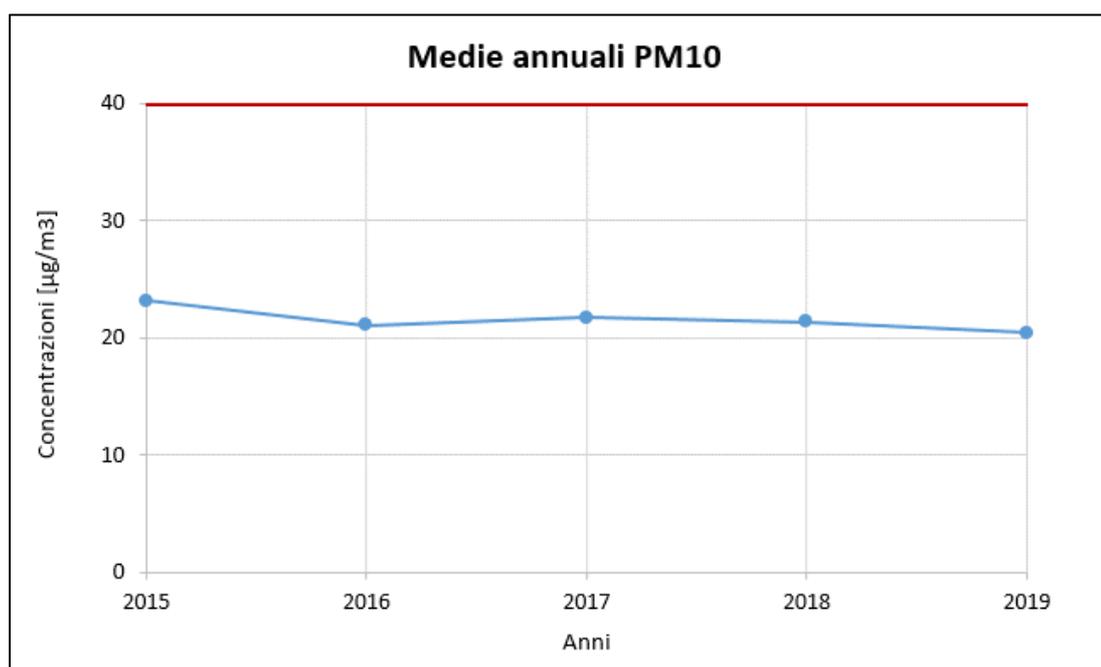


Figura 3-13 Medie annuali PM10- confronto con limite normativo (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Questo andamento costante dei valori di PM₁₀ è evidenziato anche confrontando il dato giornaliero per i diversi anni analizzati, riportato in Figura 3-14.

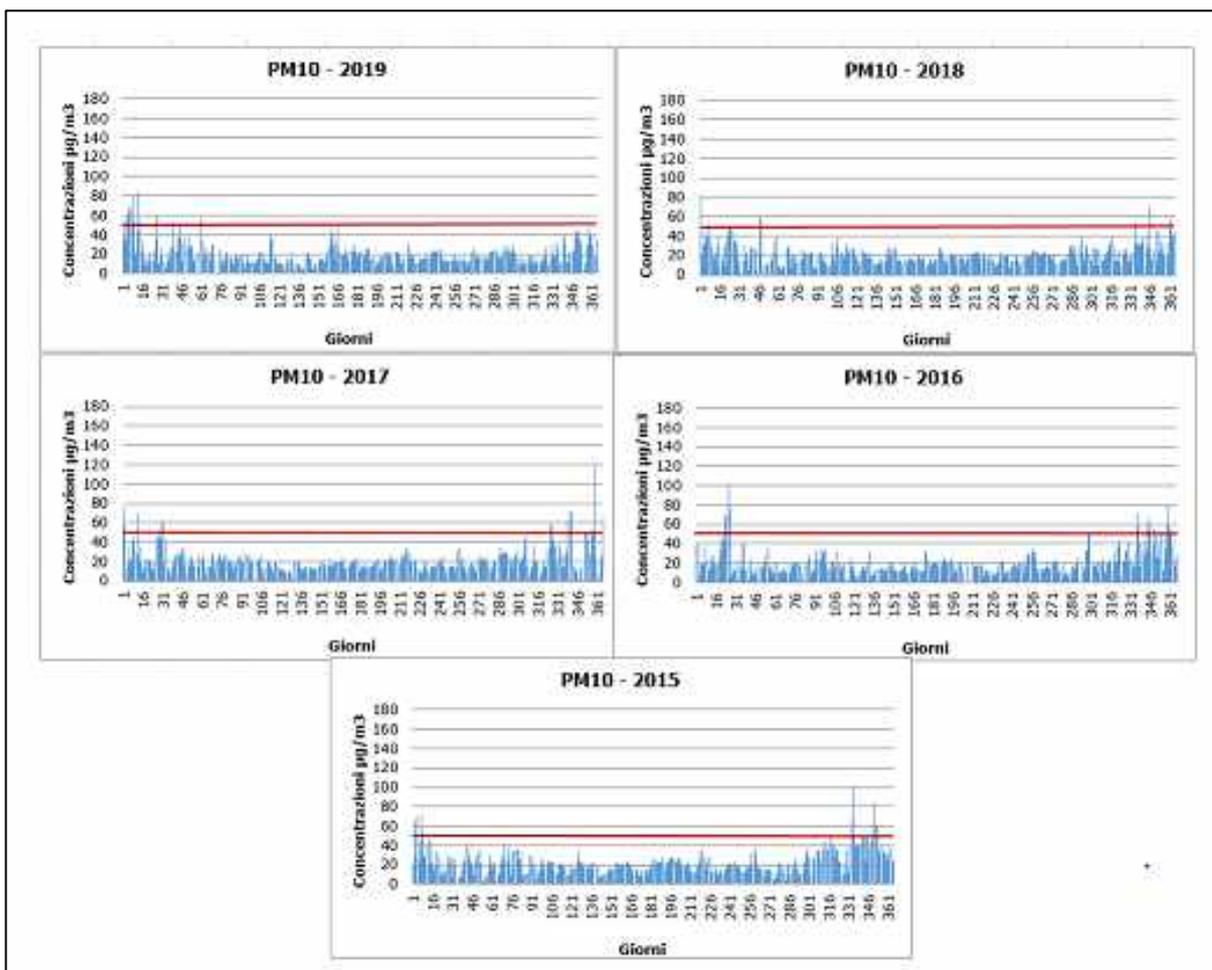


Figura 3-14 Valori orari di PM10 anni 2015-2019 Centralina di Firenze – Scandicci (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Concentrazioni di PM_{2,5}

Per analizzare i valori di concentrazione del PM_{2,5} sono stati visionati i valori annuali registrati dalla centralina di Firenze – Scandicci che hanno permesso di comprendere l'evoluzione, nell'arco temporale di riferimento, dell'inquinante e di verificare i superamenti con il limite normativo.

Sono stati riassunti, nella Tabella 3-4 ed in Figura 3-15, i dati di concentrazione media annua per il PM_{2,5} registrati della centralina di Firenze – Scandicci, dal 2015 al 2019. Si ricorda inoltre che la stima delle concentrazioni di PM_{2,5} è stata effettuata a partire da quella del PM₁₀ ipotizzando che le prime siano pari al 60% delle seconde. Come è possibile osservare, i valori di PM_{2,5} medi annui negli anni di riferimento sono pressoché costanti e non superano il limite normativo in nessun caso.

Anno	Valore Medio (µg/m ³)
2015	13,90
2016	12,68
2017	13,04
2018	12,85
2019	12,29

Tabella 3-4 Concentrazioni medie annue di PM_{2.5} (µg/m³) negli anni 2015-2019 – Centralina di Firenze – Scandicci
(Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

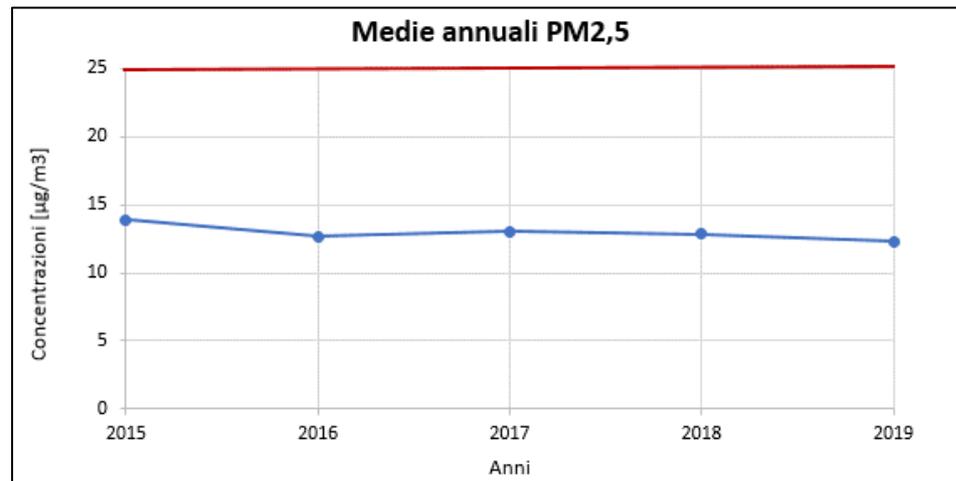


Figura 3-15 Medie annuali PM_{2.5} - confronto con limite normativo (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Benzene

Caratteristiche ed effetti sull'uomo e sull'ambiente

Il benzene è un composto chimico che a temperatura ambiente e pressione atmosferica si presenta sotto forma di liquido volatile incolore altamente infiammabile, dall'odore caratteristico. Dal punto di vista chimico, il benzene è un idrocarburo aromatico monociclico avente formula C₆H₆. È un costituente naturale del petrolio, ma viene anche sintetizzato a partire da altri composti chimici presenti nel petrolio stesso. Possiede notevoli proprietà solventi: è miscibile in tutte le proporzioni con molti altri solventi organici, mentre è poco solubile in acqua (0,18% a 25 °C). Viene da tempo impiegato come antidetonante nelle benzine, ma a causa della sua pericolosità per la salute e della facilità con cui contamina le falde freatiche, diverse entità (tra cui gli Stati Uniti e l'Unione europea) ne stanno scoraggiando l'uso limitandone le concentrazioni ammesse per legge.

Il benzene viene prodotto per combustione incompleta di composti ricchi in carbonio, ad esempio, è prodotto naturalmente nei vulcani o negli incendi di foreste, ma anche nel fumo delle sigarette, o comunque a temperature superiori ai 500 °C.

Fino alla Seconda Guerra Mondiale, la quasi totalità del benzene era un sottoprodotto della produzione di carbon coke nell'industria dell'acciaio. Durante gli anni Cinquanta, la domanda di benzene crebbe enormemente per le richieste delle neonate fabbriche di produzione di materie plastiche, per cui fu necessario produrre il benzene anche dal petrolio.

Attualmente, la maggior parte del benzene è prodotta dalle industrie petrolchimiche, e in una minor parte, dal carbone.

Relativamente all'utilizzo, il benzene è un solvente molto usato nell'industria chimica; è stato anche impiegato per la sintesi di varie medicine, di materie plastiche, del caucciù sintetico, e di alcuni coloranti.

Prima degli anni Venti, il benzene era spesso utilizzato come solvente industriale, soprattutto per sgrassare i metalli. Quando la sua tossicità e le sue proprietà cancerogene divennero evidenti, venne rimpiazzato via via da altri solventi meno tossici nelle applicazioni che comportano un'esposizione diretta dell'operaio.

La maggior parte del benzene viene utilizzato come intermedio nella sintesi di altri composti chimici.

Il benzene, come noto, ha effetti nocivi sulla salute dell'uomo, in particolare la sua inalazione provoca l'intossicazione. L'inalazione di un tasso molto elevato di benzene può portare anche al decesso

Il principale effetto di un'esposizione cronica al benzene è il danneggiamento dei tessuti ossei e la diminuzione delle cellule del midollo osseo, che può causare una diminuzione del tasso di globuli rossi nel sangue e un'anemia aplastica o una leucemia. Può anche dare origine a coaguli, difficoltà di coagulazione del sangue ed indebolimenti del sistema immunitario.

Il benzene è stato classificato dall'IARC come agente cancerogeno del gruppo 1. La sua cancerogenicità è legata al suo comportamento da agente intercalante: esso infatti "scivola" tra i nucleotidi di un acido nucleico (come il DNA) provocando errori di lettura o scrittura del codice genetico; ciò danneggia la sintesi proteica e rende incontrollata la riproduzione cellulare. Danneggia soprattutto le cellule germinali.

Non tutti i composti planari sono necessariamente cancerogeni. Ad esempio, l'acido benzoico, molto simile al benzene, perfettamente planare (sia l'anello che il gruppo carbossilico sono planari), non è cancerogeno (viene trasformato in acido ippurico) e i suoi sali di sodio e potassio vengono utilizzati come conservante alimentare. Allo stesso modo, la fenilalanina, un amminoacido essenziale, comprende nel suo residuo un gruppo fenile (un anello benzenico), non è assolutamente cancerogena, anzi, la mancata assunzione di tale sostanza può provocare seri problemi. Il benzene è annoverato nella lista degli inquinanti atmosferici redatta nel documento del Clean Air Act e come inquinante delle acque nel Clean Water Act.

Il benzene è presente nei gas di scarico delle vetture. Uno dei luoghi in cui si hanno maggiori esposizioni al benzene del pubblico e dei lavoratori sono le stazioni di servizio, in quanto è inevitabile che una certa quantità di benzene, che è contenuto nella benzina come additivo, si disperda durante le operazioni di rifornimento.

Concentrazioni di C₆H₆

Per analizzare i valori di concentrazione del C₆H₆ sono stati visionati i valori annuali registrati dalla centralina di Firenze - Bassi poiché è la più simile per tipologia e posizione a quella di Firenze - Scandicci, finora presa come riferimento. Tali dati hanno permesso di comprendere l'evoluzione, nell'arco temporale di riferimento, dell'inquinante e di verificare eventuali superamenti del limite normativo.

Sono stati riassunti, nella Tabella 3-4 ed in Figura 3-15, i dati di concentrazione media annua per il C₆H₆ negli anni in cui è stato effettuato il rilevamento da parte della centralina di Firenze - Bassi, dal 2015 al 2019, così come effettuato per i precedenti inquinanti monitorati dalla centralina di Scandicci. Come è possibile osservare, i valori di Benzene medi annui nei periodi di riferimento

sono pressoché costanti e non superano mai il limite normativo di 5 µg/m³.

Anno	Valore Medio (µg/m ³)
2015	1,62
2016	1,28
2017	1,38
2018	1,34
2019	1,23

Tabella 3-5 Concentrazioni medie annue di C6H6 (µg/m³) negli anni 2015-2019 – Centralina di Firenze - Bassi (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

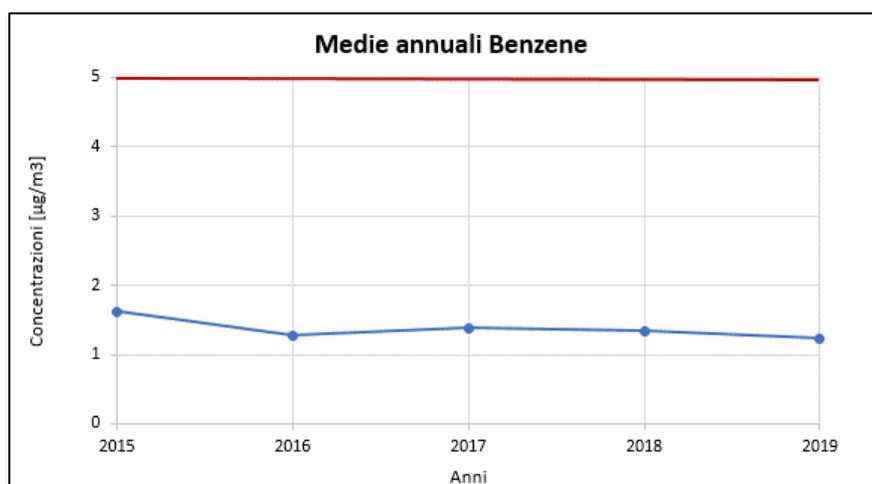


Figura 3-16 Medie annuali C6H6 -confronto con limite normativo (Fonte: elaborazione dati ARPA Toscana)

Di seguito si riassumono i valori di qualità dell'aria relativi alle due centraline Firenze – Scandicci e Bassi rappresentative della qualità dell'aria circostante l'infrastruttura in esame. La Tabella 3-6 nello specifico mostra i valori di riferimento all'anno 2019.

Centralina	Inquinante	Valore di qualità dell'aria media annua 2019 [µg/m ³]
Firenze - Scandicci	Ossido di Azoto - NO _x	44,20
Firenze - Scandicci	Biossido di Azoto - NO ₂	25,52
Firenze - Scandicci	Particolato - PM ₁₀	20,48
Firenze - Scandicci	Particolato - PM _{2,5}	12,29
Firenze - Bassi	Benzene - C ₆ H ₆	1,23

Tabella 3-6 Valori di qualità dell'aria media annua (2019)

4 I MODELLI DI SIMULAZIONE

Al fine di condurre le analisi emissive e diffusionali generate dall'opera in esame, ci si è avvalsi di alcuni modelli di simulazione, di seguito descritti.

4.1 COPERT 5

Per la valutazione dei fattori di emissione derivanti da traffico stradale, caratterizzante uno dei principali input del modello diffusionale, si è fatto riferimento al software di calcolo COPERT 5. Tale software è lo standard europeo per la valutazione delle emissioni da traffico veicolare stradale. Lo sviluppo del software COPERT è coordinato dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, all'interno delle attività del "European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation". Responsabile dello sviluppo scientifico è il European Commission's Joint Research Centre. Il modello è stato realizzato ed è utilizzato per gli inventari delle emissioni stradali degli stati membri. La metodologia utilizzata da COPERT 5 è parte integrante del EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook per il calcolo dell'inquinamento atmosferico ed è in linea con gli orientamenti IPCC per il calcolo delle emissioni di gas a effetto serra.

COPERT 5 trae le sue origini da una metodologia sviluppata da un gruppo di lavoro che è stato istituito in modo esplicito a tale scopo nel 1989 (COPERT 85). Questo è stato poi seguito da versioni successive aggiornate, fino ad arrivare alla versione attuale che rappresenta una sintesi dei risultati delle varie attività su larga scala e progetti dedicati, quali:

Progetti dedicati finanziati dal Centro comune di ricerca/Trasporti e l'Unità Qualità dell'aria;
Programma annuale di lavoro del "European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC / ACM)";

Programma di lavoro del "European Research Group on Mobile Emission Sources (Ermes)";
Progetto MEET (Methodologies to Estimate Emissions from Transport), una Commissione Europea (DG VII) che ha promosso il progetto all'interno del 4 ° Framework Program (1996-1998);

Il progetto particolare (Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles), una Commissione europea (DG Transport) PROGETTO nell'ambito del 5° Framework Program (2000-2003);

Il progetto ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems), una Commissione europea (DG Trasporti) PROGETTO nell'ambito del 5° Framework Program (2000-2007);

Il progetto congiunto JRC/CONCAWE/ACEA sull' evaporazione del carburante da veicoli a benzina (2005-2007)¹.

Attraverso alcuni dati di input, quali la composizione del parco veicolare circolante e la velocità media è possibile calcolare i fattori di emissioni corrispondenti per ogni tipologia di veicolo e per ogni inquinante considerato.

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

4.2 COPERT STREET LEVEL

Il modello Copert Street Level è basato sul noto software COPERT ma offre un approccio completamente nuovo al livello di calcoli. Utilizza algoritmi basati su COPERT ma calcola le emissioni del veicolo sulla strada designata in base ai dati del flusso di traffico. Lo sviluppo del software COPERT è coordinato dall'Agenda Europea dell'Ambiente, all'interno delle attività del "European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation". Responsabile dello sviluppo scientifico è il European Commission's Joint Research Centre. Il modello è stato realizzato ed è utilizzato per gli inventari delle emissioni stradali degli stati membri.

La metodologia utilizzata è parte integrante del EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook per il calcolo dell'inquinamento atmosferico ed è in linea con gli orientamenti IPCC per il calcolo delle emissioni di gas a effetto serra.

COPERT trae le sue origini da una metodologia sviluppata da un gruppo di lavoro che è stato istituito in modo esplicito a tale scopo nel 1989 (COPERT 85). Questo è stato poi seguito da versioni successive aggiornate, fino ad arrivare alla versione attuale che rappresenta una sintesi dei risultati delle varie attività su larga scala e progetti dedicati, quali:

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

Per l'applicazione di COPERT STREET LEVEL è necessaria l'implementazione di un file di input adeguatamente costruito. Tale file si compone di diverse informazioni tra cui i nomi relativi ai diversi archi della rete, le coordinate corrispondenti, la lunghezza dei singoli archi, le velocità medie associate alle diverse tipologie di strade simulate, il TGM fornito dallo studio trasportistico e la composizione del parco veicolare circolante.

4.3 CALROADS

Il software utilizzato per l'analisi delle concentrazioni degli inquinanti, invece, è Calroads View. Tale software integra su un'unica piattaforma grafica tre modelli differenti per l'analisi delle concentrazioni da traffico veicolare:

- Caline 4;
- CAL3QHC;
- CAL3QHCR.

Nel caso in esame è stato utilizzato, per la modellazione dell'area, il modello CAL3QHCR. Tale modello è una versione evoluta del modello CAL3QHC che è in grado di processare un intero anno di dati meteorologici. Inoltre, è possibile imputare al modello i fattori di emissione generati dai veicoli (calcolati per mezzo di Copert 5) ed il volume di traffico.

Il software, al fine di analizzare i dati meteorologici è integrato con un processore meteorologico specifico, RAMMET View, il quale partendo dai rilievi meteorologici a terra ed in quota è in grado di processare i dati al fine di poter generare un file di input utile per l'analisi delle dispersioni. Tale modello al suo interno contiene uno specifico processore, che attraverso leggi di correlazione specifiche è in grado di stimare il file del profilo meteorologico in quota a partire dai dati a terra. Dal punto di vista progettuale il software permette di modellare ogni "link" simulato in termini di geometrie e caratteristiche, definendo sia l'altezza del link sia la geometria che influenza le diffusioni, così come mostrato in Figura 4-1.

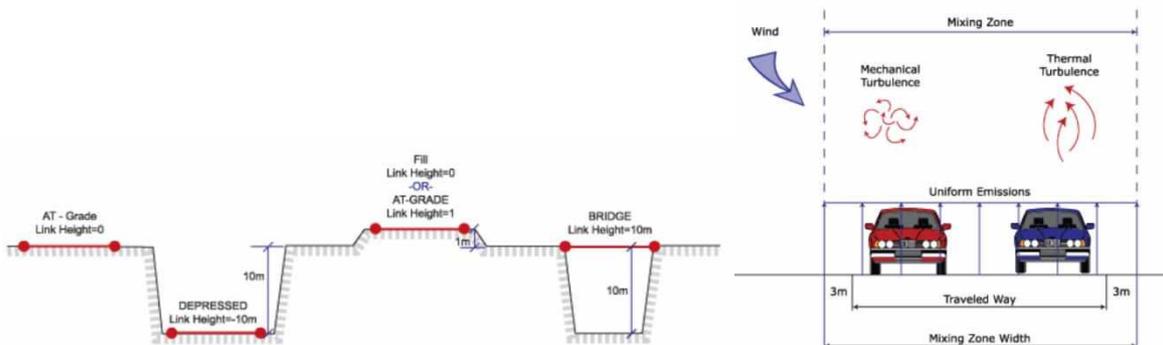


Figura 4-1 Modellazione geometrica del tracciato

Il software, inoltre, è in grado di poter modellare ogni singolo link secondo la tecnica di flusso libero o in coda. Rispetto a quest'ultimo aspetto il modello permette di definire due differenti tipologie di parametri emissivi: nel caso di flusso libero il parametro emissivo risulta calcolato in g/km, mentre in caso di coda in g/h considerando quindi l'effetto generato dai veicoli fermi in coda in attesa di utilizzare l'intersezione.

In ultimo il software consente di inserire i ricettori quali punti di calcolo del modello. Tali punti possono essere inseriti come singolo punto, come link di punti o come maglia di punti.

Per quanto riguarda la prima tipologia di ricettore, occorre definire la posizione in termini di X, Y e Z. Per la seconda tipologia invece, definito un link di riferimento è possibile creare una linea di ricettori parallela al link selezionato posto ad una distanza D e spazati tra loro di una distanza S, come mostrato in Figura 4-2. Per quanto riguarda la maglia, infine, occorre identificare il passo e il numero di punti nelle due dimensioni X e Y.



Figura 4-2 Esempio di ricevitori a link

4.4 AERMOD VIEW

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

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

- Aermoc;
- ISCST3;
- ISC-PRIME.

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

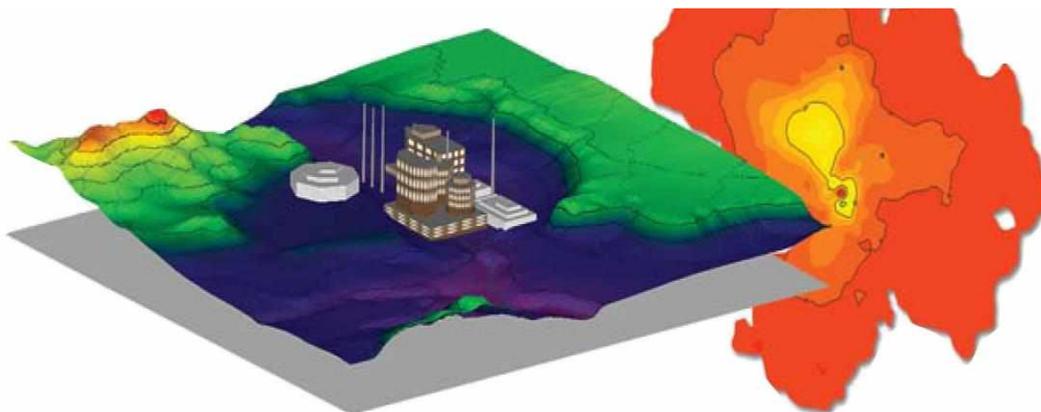


Figura 4-3 AermocView Esempio di modellazione grafica 3D delle curve di isoconcentrazione

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

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

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

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

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

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

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

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

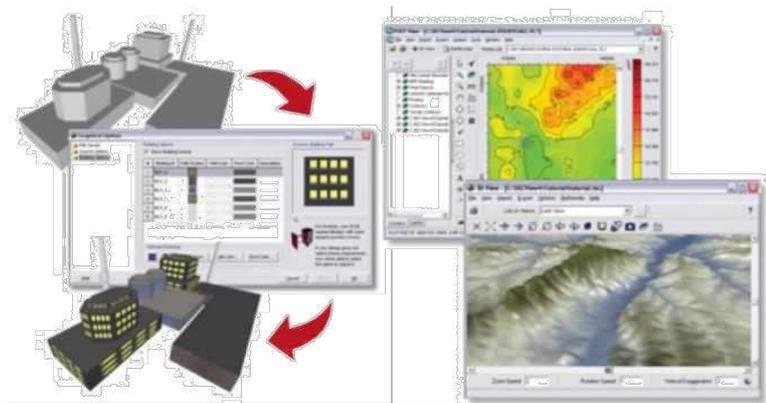


Figura 4-4 Esempio di modulo di visualizzazione 3D integrato nel modello di calcolo

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

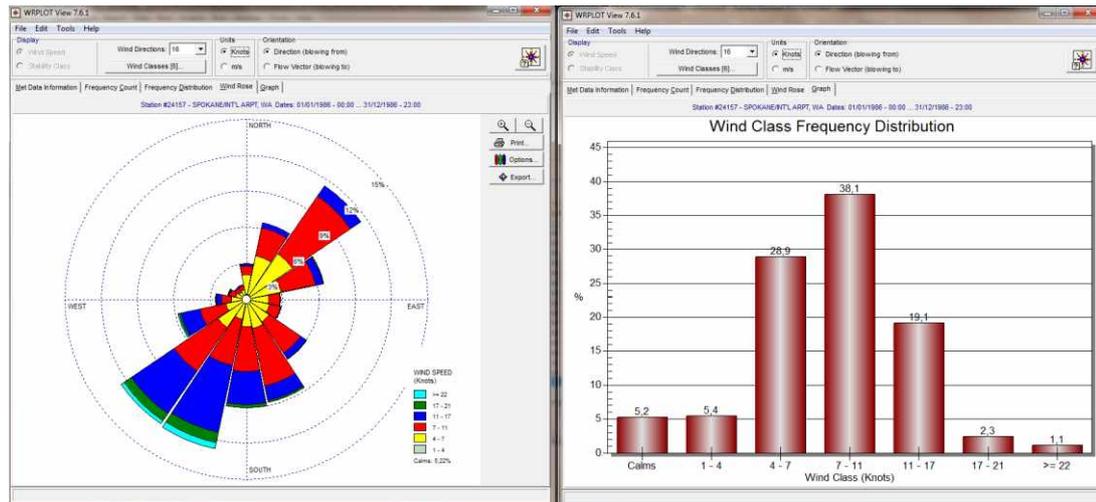


Figura 4-5 Esempio di applicazione del modulo AERMET

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

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

- parametri territoriali;
- parametri progettuali.

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

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

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

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

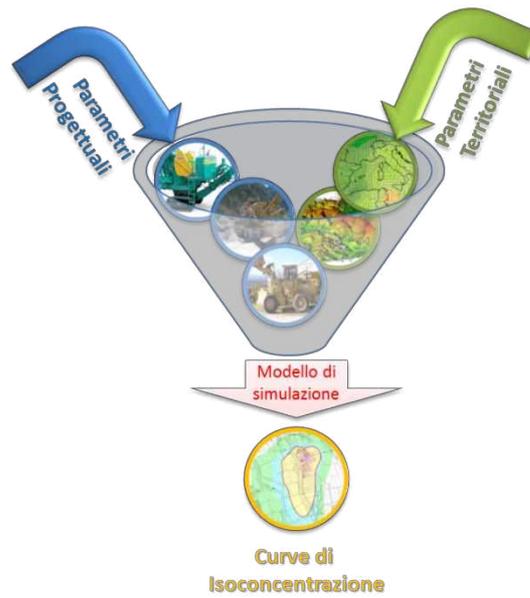


Figura 4-6 Definizione logica del modello adottato

5 L'ANALISI MODELLISTICA DELLO SCENARIO ATTUALE

5.1 L'ANALISI EMISSIVA

Metodologia di analisi

La stima delle emissioni generate dal traffico veicolare per lo scenario attuale è stata possibile mediante il modello di simulazione Copert Street Level. All'interno del software sono stati implementati i principali parametri di input, quali: la rete stradale attuale, i volumi di traffico espressi mediante il TGM, le velocità medie di percorrenza per ogni ramo della rete ed il parco veicolare della Regione Toscana (relativo all'anno 2019, ultimo anno disponibile) fornito dall'ACI.

Nei seguenti paragrafi, si riportano: gli input implementati e le risultanze emissive in termini di NOx, PM10, PM2.5 e Benzene per lo stato attuale.

Dati di input del modello

La rete stradale di riferimento, i volumi e le velocità del traffico circolante

In Figura 5-1 è rappresentata la rete stradale considerata per il calcolo modellistico delle emissioni. La rete comprende l'Autostrada A1, la SGC Firenze-Livorno-Pisa e le principali strade circostanti il territorio in cui verrà inserita l'infrastruttura in progetto. In figura sono riportati, inoltre, i codici dei singoli archi implementati nel software le velocità medie di percorrenza.

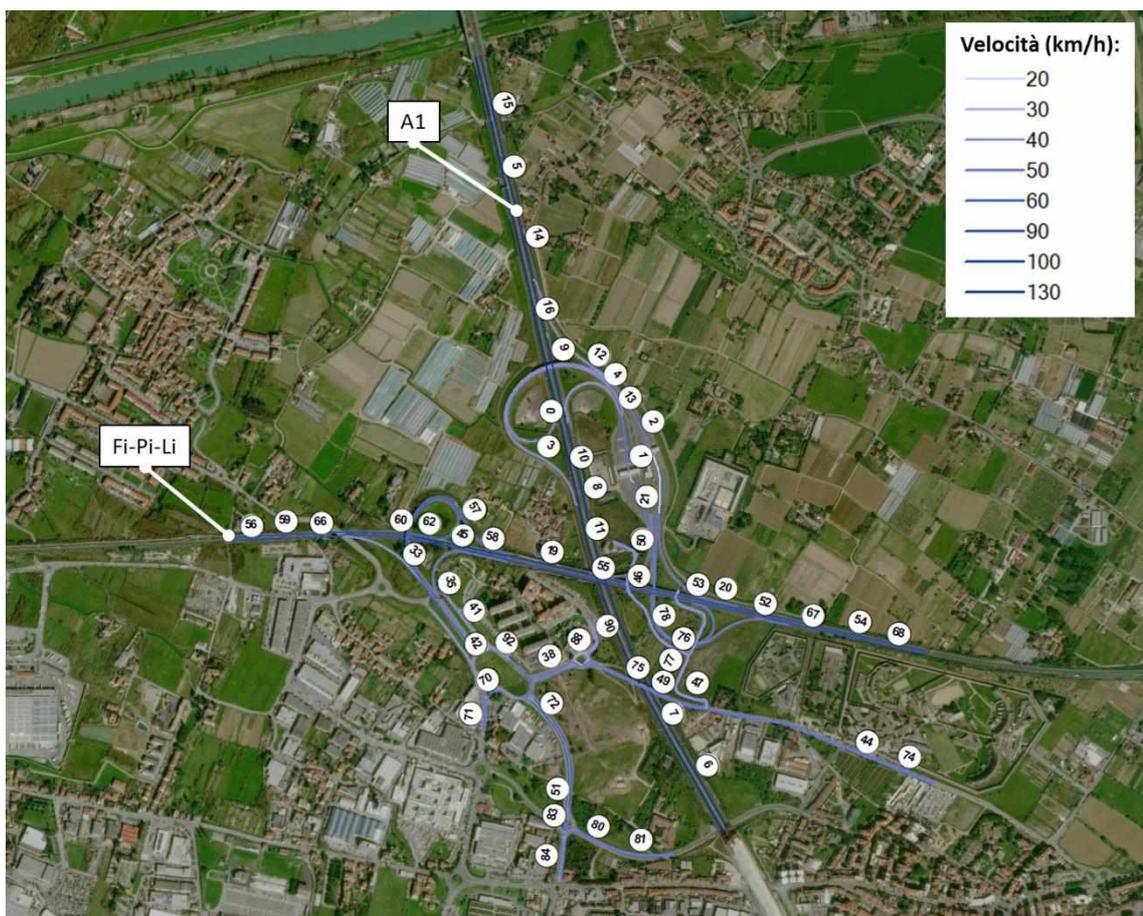


Figura 5-1: Rete di riferimento per l'analisi emissiva dello stato attuale e velocità di percorrenza

In Tabella 5-1, inoltre, si riportano i volumi di traffico distinti per veicoli leggeri e pesanti circolanti nella configurazione attuale, espressi in TGM.

Link	TGM Leggeri	TGM Pesanti									
0	11226	1127	25	3375	23	50	14508	1440	75	6798	217
1	22452	2254	26	21493	1739	51	4051	161	76	62	0
2	24147	2397	27	28705	2252	52	19957	1924	77	1058	23
3	12073	1198	28	16965	1403	53	19262	1513	78	5	0
4	11226	1127	29	19972	1946	54	28900	2470	79	1012	23
5	34563	14376	30	11814	1555	55	34467	3364	80	3142	170
6	35071	12976	31	15866	1717	56	25881	3459	81	2276	98
7	34433	13179	32	10674	1195	57	17612	616	82	8157	391
8	35071	12976	33	504	1099	58	19701	2687	83	4051	161
9	37226	14499	34	18116	1715	59	21285	2878	84	5348	268
10	34433	13179	35	9090	1004	60	21285	2878	85	2107	110
11	34433	13179	36	8157	391	61	18116	1715	86	2107	110
12	12074	1199	37	6815	305	62	1583	191	87	5348	268
13	11226	1127	38	6912	232	63	10674	1195	88	311	15
14	37226	14499	39	3684	297	64	6912	232	89	7090	232
15	37226	14499	40	3684	297	65	3684	297	90	37	88
16	34563	14376	41	5041	419	66	25881	3459	91	2	12
17	11226	1127	42	7211	512	67	24558	2387	92	19093	1639
18	22650	2254	43	18050	1790	68	24558	2387	93	24147	2397
19	37313	3304	44	4373	193	69	28900	2470	94	22650	2254
20	9637	956	45	25376	2360	70	3007	543	95	18050	1790
21	24147	2397	46	4600	463	71	11739	849	96	4600	463
22	12182	1419	47	477	14	72	8157	391			
23	19095	1651	48	489	14	73	4051	161			
24	14051	1219	49	3844	208	74	6746	193			

Tabella 5-1: Dati di traffico sulla rete stradale attuale

La composizione del parco veicolare circolante

Uno degli elementi fondamentali per il calcolo delle emissioni è la caratterizzazione del parco veicolare in termini di tipologia di veicoli ed entità di traffico. I dati utili a tale scopo sono dati ufficiali forniti direttamente dall'Automobile Club d'Italia (ACI). Nel caso specifico si è fatto riferimento alla rappresentazione del parco veicolare della Regione Toscana relativo al 2019.

Il documento che si è consultato, contenente tutti i dati relativi alle differenti tipologie veicolari, è una sintesi articolata dei dati tratti dagli archivi dell'ente sulle informazioni tecnico – giuridiche dei veicoli circolanti. L'analisi sul traffico veicolare viene fatta suddividendo questo in diverse classi "COPERT" ovvero secondo la classificazione individuata dall'Air Pollutant Emission Inventory guide book.

Il documento è, inoltre, suddiviso per ambito territoriale di riferimento:

- area territoriale (area vasta, generalmente più regioni);
- regionale;
- provinciale;
- comunale.

Nel caso specifico dell'area di interesse l'ambito a cui far riferimento è funzione del bacino di influenza dell'infrastruttura considerata, ovvero della capacità e della provenienza delle sorgenti che l'infrastruttura stessa "genera e attrae".

Al fine di assumere un dato sufficientemente significativo e cautelativo si è scelto di far riferimento alla suddivisione regionale del parco veicolare, essendo questa maggiormente rappresentativa del traffico veicolare circolante sull'infrastruttura di analisi.

Le tipologie veicolari che sono state considerate riguardano:

- autovetture, distinte per tipologia di alimentazione;
- veicoli industriali leggeri, distinti per tipologia di alimentazione;
- veicoli industriali pesanti, distinti per tipologia di alimentazione;
- autobus, distinti per uso.

Autovetture Regione Toscana - 2019											
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non identificato	TOTALE
BENZINA	Fino a 1400	103.393	20.460	87.317	118.154	264.624	149.542	243.474		964	987.928
	1401 - 2000	27.829	10.784	24.428	15.870	34.361	13.531	26.356		179	153.338
	Oltre 2000	5.957	1.334	2.121	1.765	3.460	1.024	3.105		33	18.799
	Non definito	28		1				1			30
BENZINA Totale		137.207	32.578	113.867	135.789	302.445	164.098	272.935		1.176	1.160.095
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 1400	4.069	603	2.094	2.503	38.018	29.763	47.849		5	124.904
	1401 - 2000	4.587	1.575	2.927	1.785	8.241	6.550	7.162		10	32.837
	Oltre 2000	501	172	319	284	774	47	21		2	2.120
	Non definito	1		1	1						3
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		9.158	2.350	5.341	4.573	47.033	36.360	55.032		17	159.864
BENZINA E METANO	Fino a 1400	1.742	374	1.605	1.385	19.159	26.786	23.631		2	74.684
	1401 - 2000	1.167	498	1.202	1.321	5.435	736	1.403			11.762
	Oltre 2000	71	33	54	26	199	28	7			418
	Non definito	1									1
BENZINA E METANO Totale		2.981	905	2.861	2.732	24.793	27.550	25.041		2	86.865
GASOLIO	Fino a 1400	1.865	86	115	17.584	78.288	61.503	47.355		2	206.798
	1401 - 2000	10.566	2.288	17.602	71.555	142.228	184.541	381.826		6	810.612
	Oltre 2000	9.129	3.542	13.607	24.145	27.145	21.186	33.290		5	132.049
	Non definito	21.560	5.916	31.324	113.284	247.661	267.230	462.471		13	1.149.459
GASOLIO Totale											
ELETTRICITA	Non contemplato								2.812		2.812
ELETTRICITA Totale									2.812		2.812
IBRIDO BENZINA	Fino a 1400					31	297	1.320			1.648
	1401 - 2000					185	2.054	10.961			13.200
	Oltre 2000					97	84	2.257		1	2.439
	Non definito							1			1
IBRIDO BENZINA Totale						313	2.435	14.539		1	17.288
IBRIDO GASOLIO	1401 - 2000						81	974			1.055
	Oltre 2000						18	339			357
IBRIDO GASOLIO Totale							99	1.313			1.412
ALTRE	Fino a 1400	45									45
ALTRE Totale		45									45
NON DEFINITO	Fino a 1400	24			1					10	35
	1401 - 2000	6				1					7
	Oltre 2000				1					1	2
	Non definito	19				2					13
NON DEFINITO Totale		49			2	3				24	78
		171.000	41.749	153.393	256.380	622.248	497.772	831.331	2.812	1.233	2.577.918

Tabella 5-2: Suddivisione Autovetture, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

Veicoli industriali leggeri Regione Toscana - 2019											
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5	3.200	1.087	2.633	2.735	2.782	1.261	4.252		61	18.011
	Non definito	301	11		1	1	1	4		4	323
BENZINA Totale		3.501	1.098	2.633	2.736	2.783	1.262	4.256		65	18.334
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5	625	180	131	224	2.099	818	1.918		1	5.996
	Non definito	95	5		2			1			103
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		720	185	131	226	2.099	818	1.919		1	6.099
BENZINA E METANO	Fino a 3,5	152	55	80	169	1.783	2.408	4.591		1	9.239
	Non definito	5						2			7
BENZINA E METANO Totale		157	55	80	169	1.783	2.408	4.593		1	9.246
GASOLIO	Fino a 3,5	22.533	14.106	30.819	50.009	48.630	50.567	64.658		21	281.343
	Non definito	2.179	189	7	11	4	25	60		3	2.478
GASOLIO Totale		24.712	14.295	30.826	50.020	48.634	50.592	64.718		24	283.821
ELETTRICITA'	Non contemplato								1.003		1.003
ELETTRICITA' Totale									1.003		1.003
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5	1			1		1	60			63
	Non definito							1			1
IBRIDO BENZINA Totale		1			1		1	61			64
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5					3	1	33			37
IBRIDO GASOLIO Totale						3	1	33			37
ALTRE	Fino a 3,5	2	2								4
	Non definito	1									1
ALTRE Totale		3	2								5
NON DEFINITO	Fino a 3,5	2									2
	Non definito	1								1	2
NON DEFINITO Totale		3								1	4
		29.097	15.635	33.670	53.152	55.302	55.082	75.580	1.003	92	318.613

Figura 5-2: Suddivisione Veicoli leggeri, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

Veicoli industriali pesanti Regione Toscana - 2019										
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non definito	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5	123	1	3	8	5		1	3	144
BENZINA Totale		123	1	3	8	5		1	3	144
BENZINA E GAS LIQUIDO	Oltre 3,5	21	3					2		26
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		21	3					2		26
BENZINA E METANO	Oltre 3,5	2		1	5	2	23	65		98
BENZINA E METANO Totale		2		1	5	2	23	65		98
GASOLIO	3,6 - 7,5	3.226	625	1.332	2.023	960	1.189	1.255	29	10.639
	7,6 - 12	2.614	639	1.196	1.564	267	751	464	12	7.507
	12,1 - 14	534	53	91	198	56	173	89	6	1.200
	14,1 - 20	1.169	356	892	1.271	219	806	643	15	5.371
	20,1 - 26	1.601	414	1.092	1.497	182	1.367	1.068	6	7.227
	26,1 - 28	13		1	3		1	40		58
	28,1 - 32	18	44	268	616	105	423	231		1.705
	Oltre 32	61	14	37	39	13	52	36	1	253
GASOLIO Totale		9.236	2.145	4.909	7.211	1.802	4.762	3.826	69	33.960
NON DEFINITO	3,6 - 7,5								1	1
	7,6 - 12								1	1
	12,1 - 14	1								1
	14,1 - 20				1					1
NON DEFINITO Totale		1			1				2	4
		9.383	2.149	4.913	7.225	1.809	4.785	3.894	74	34.232

Tabella 5-3: Suddivisione Veicoli pesanti, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

Autobus Regione Toscana - 2019										
USO	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
Noleggio	120	47	186	257	164	288	578			1.640
Privato	170	68	199	232	116	82	91		5	963
Pubblico	120	39	580	870	81	501	809		1	2.981
Altri usi	19	3	12	3	1					38
Non contemplato								46		46
	429	157	957	1.362	362	871	1.478	46	6	5.668

Tabella 5-4: Suddivisione Autobus, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

Al fine di facilitare la lettura delle tabelle, è possibile osservare i grafici sottostanti in cui vengono riportati, in termini percentuali, i dati relativi ad ogni tipologia veicolare considerata.

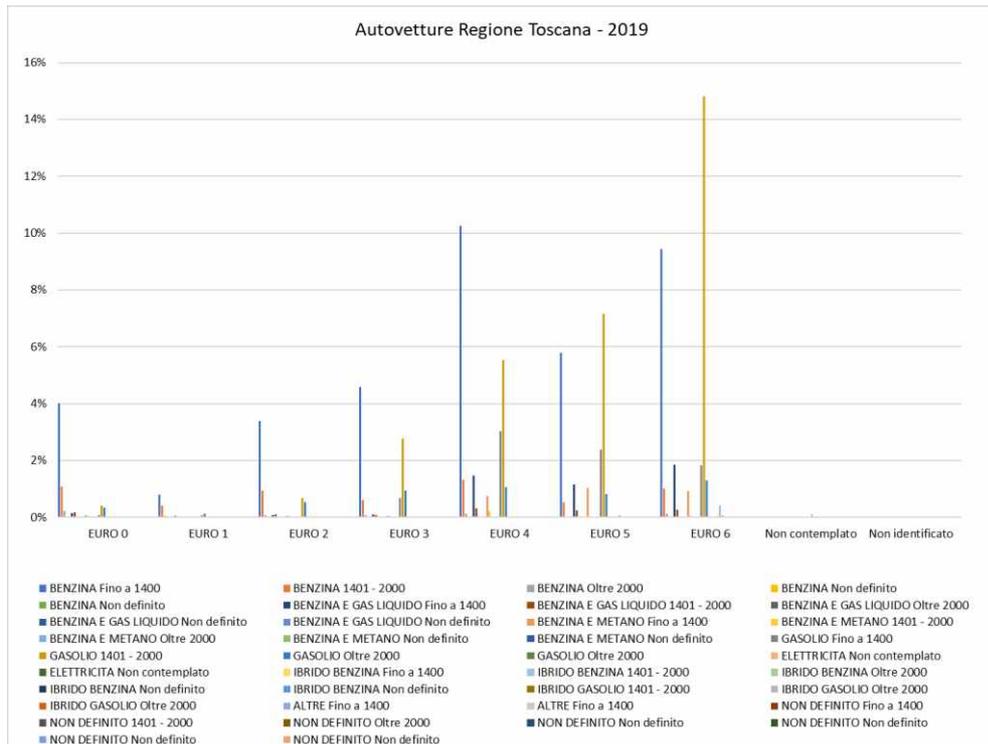


Figura 5-3: Suddivisione percentuale Autovetture, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

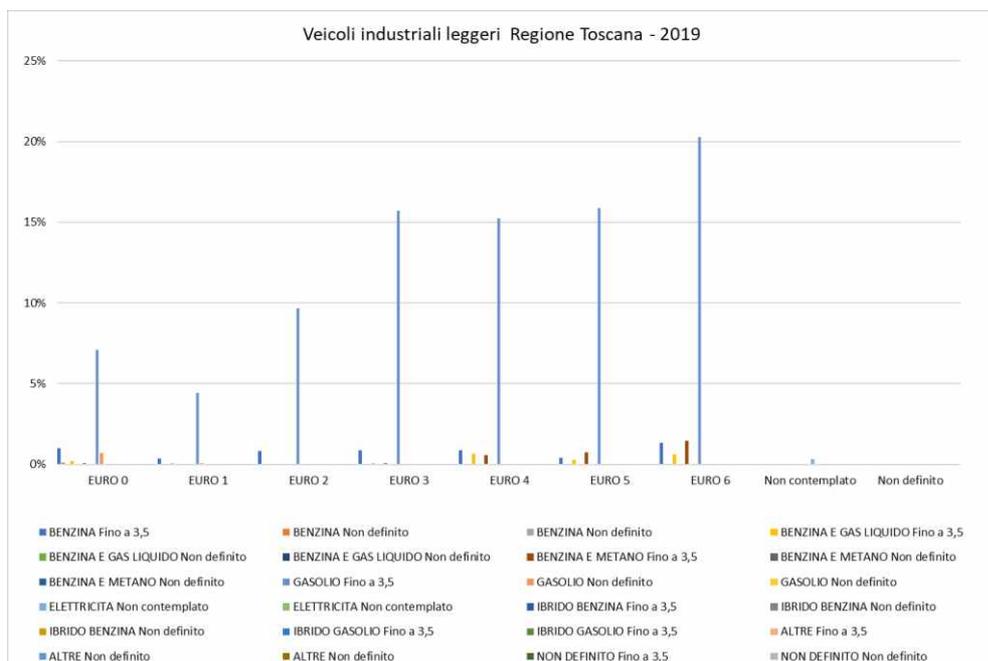


Figura 5-4: Suddivisione percentuale Veicoli leggeri, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

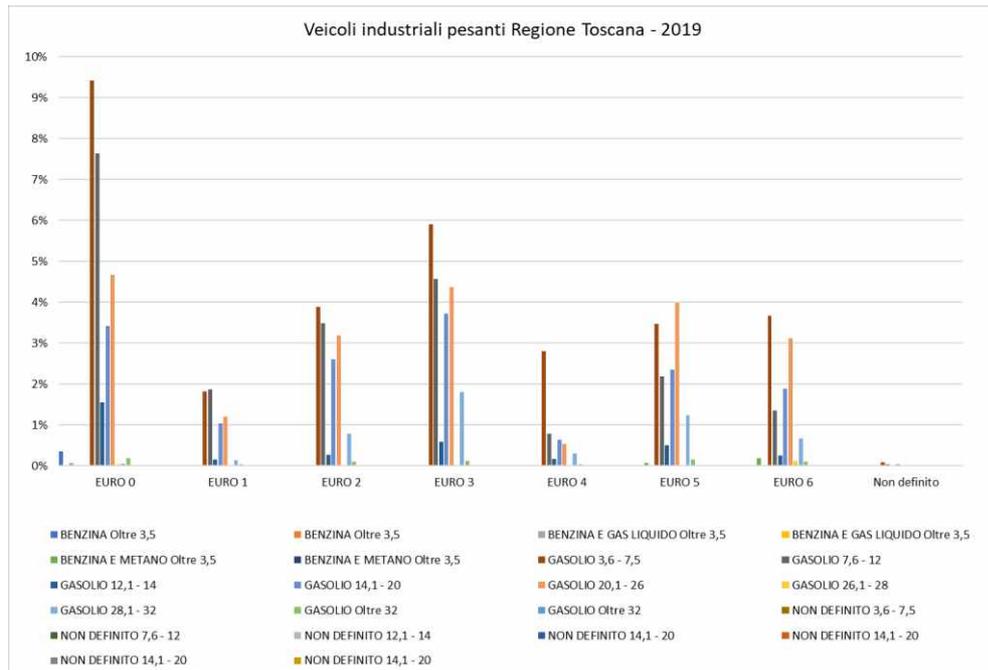


Figura 5-5: Suddivisione percentuale Veicoli pesanti, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

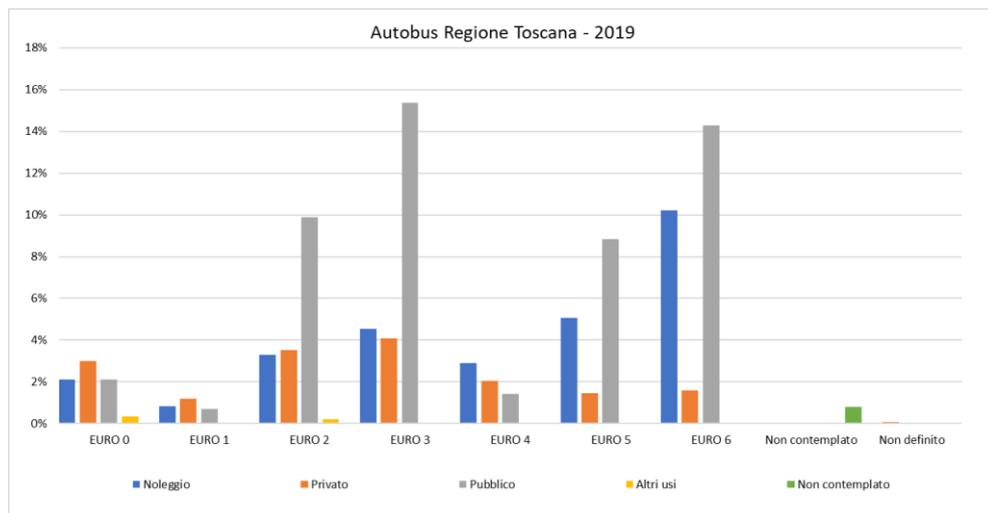


Figura 5-6: Suddivisione percentuale Autobus, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

L'output del modello di simulazione emissivo per lo scenario ante operam

Gli input sopra definiti sono stati implementati all'interno del software di calcolo Copert Street Level, grazie al quale è stato possibile stimare le emissioni annuali prodotte dai diversi rami della rete stradale di riferimento.

Gli inquinanti considerati in Copert Street Level sono stati NO_x, PM₁₀ e VOC.

Dal valore del PM₁₀ si è poi ottenuto quello del PM_{2.5}, assumendo un rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ pari al 60%.

Nello specifico, l'analisi emissiva per il PM₁₀ è stata condotta considerando sia il contributo emissivo come la somma di due contributi:

- PM "exhaust", emesso nelle fasi di flusso libero dei veicoli;

- PM "non exhaust", derivante invece dall'abrasione dell'asfaltolegato al transito dei veicoli, al consumo dei freni e delle frizioni e, infine, dal consumo degli pneumatici.

I valori di C6H6, invece, sono stati ricavati applicando dei coefficienti relativi alla frazione percentuale in massa del Benzene (cfr. Figura 5-7) alle emissioni dei VOC totali, ricavate direttamente da Copert Street Level. I valori della "Mass Fraction" sono suddivisi in funzione della tipologia di veicoli e del carburante, come riportato nella figura sottostante.

Group	Species	NMVOC Fraction (% wt.)				
		Petrol 4 stroke		Diesel PC & LCV	HDV	LPG
		Convent.	Euro I & on	IDI & DI		
ALDEHYDES	formaldehyde	2.08	1.70	12.00	8.40	1.56
	acetaldehyde	0.59	0.75	6.47	4.57	1.81
	acrolein	0.16	0.19	3.58	1.77	0.59
	benzaldehyde	0.60	0.22	0.86	1.37	0.03
	crotonaldehyde	0.02	0.04	1.10	1.48	0.36
	methacrolein		0.05	0.77	0.86	0.10
	butyraldehyde		0.05	0.85	0.88	0.11
	isobutanaldehyde			2.09	0.59	
	propionaldehyde	0.11	0.05	1.77	1.25	0.70
	hexanal			0.16	1.42	
	i-valeraldehyde			0.11	0.09	0.01
	valeraldehyde		0.01	0.41	0.40	
	o-tolualdehyde	0.19	0.07	0.24	0.80	
	m-tolualdehyde	0.38	0.13	0.34	0.59	
	p-tolualdehyde	0.19	0.06	0.35		
KETONES	acetone	0.21	0.61	2.94		0.78
	methyl ethyl ketone	0.11	0.05	1.20		
AROMATICS	toluene	12.84	10.98	0.69	0.01	1.22
	ethylbenzene	4.78	1.89	0.29		0.24
	m,p-xylene	6.66	5.43	0.61	0.98	0.75
	o-xylene	4.52	2.26	0.27	0.40	0.26
	1,2,3 trimethylbenzene	0.59	0.86	0.25	0.30	0.05
	1,2,4 trimethylbenzene	2.53	4.21	0.57	0.86	0.25
	1,3,5 trimethylbenzene	1.11	1.42	0.31	0.45	0.08
	styrene	0.57	1.01	0.37	0.56	0.02
	benzene	6.83	5.61	1.98	0.07	0.63
	C9	3.12	4.21	0.78	1.17	0.25
	C10		3.07			
	C>13	6.01	3.46	13.37	20.37	
TOTALS (all species)		99.98	99.65	99.42	96.71	99.98

Figura 5-7 NMVOC Fraction (% wt.) Fonte: Table 3.86b: Composition of NMVOC in exhaust emissions (aldehydes, ketones, aromatics) - 1.A.3.b.i, 1.A.3.b.ii, 1.A.3.b.iii, 1.A.3.b.iv Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor

Per una rappresentazione grafica delle emissioni di NOx, PM10, PM2.5 e Benzene sull'intera rete

stradale attuale si rimanda all'elaborato grafico "Tavola 1 - Planimetria delle emissioni-Scenario attuale".

Di seguito si riportano i risultati tabellari dell'analisi emissiva in termini di tonnellate/anno di NOx, PM10, PM2.5 e Benzene (C6H6) prodotte dal traffico veicolare attuale sulla rete stradale presa in considerazione (cfr. Tabella 5-5):

Strada	NOx	PM10	PM2.5	Benzene
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
A1	188.514	6.771	4.062	0.410
Fi-Pi-Li	39.179	2.149	1.290	0.108
Altra viabilità limitrofa	45.028	3.010	1.806	0.169
Totale	272.721	11.930	7.158	0.687

Tabella 5-5: Emissioni annuali di NOx, PM10, PM2.5 e Benzene sulla rete stradale attuale, espresse in tonnellate/anno

Rispetto alle emissioni regionali e provinciali prodotte dalla sorgente "Trasporti stradali" nel 2010, fornite dall'"Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente (IRSE)", è possibile evidenziare il basso contributo emissivo prodotto dai veicoli circolanti sulla rete di riferimento per l'analisi (cfr. Tabella 5-6).

Inquinanti	Emissioni totali sulla rete	Emissioni totali regionali	Emissioni totali provinciali	Contributo sulle emissioni regionali	Contributo sulle emissioni provinciali
	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(%)	(%)
NOx	272.72	38715	18559	0.70%	1.47%
PM10	11.93	3139	1283	0.38%	0.93%
PM2.5	7.16	2664	1175	0.27%	0.60%
Benzene	0.69	-	-	-	-

Tabella 5-6: Contributo emissivo della rete di riferimento rispetto alla rete stradale regionale e provinciale

5.2 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI

Gli input meteorologici

Uno degli input fondamentali per l'analisi delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera è il dato meteo. Per ricreare lo scenario diffusivo caratteristico del sito simulato, quindi, è stato necessario costruire adeguati file meteorologici in formati compatibili con il preprocessore meteorologico utilizzato dal modello di simulazione Calroads, denominato Rammet.

I file meteorologici necessari sono due, uno descrittivo delle condizioni meteorologiche registrate al suolo nel sito di studio, l'altro descrittivo dell'andamento verticale dei principali parametri meteorologici.

Nel caso specifico sono stati utilizzati i dati registrati nel 2020 dalla stazione meteorologica di Firenze Peretola descritta nel Par. 2.3 per la costruzione del primo file suddetto, mentre i dati profilometrici sono stati calcolati attraverso l'applicazione del "Upper Air Estimator" sviluppato dalla Lakes Environmental e citato quale metodo applicabile dalla stessa FAA.

Per descrivere la condizione meteo climatica al suolo, il software Rammet richiede di inserire un file, con estensione “.dat”, contenente le informazioni caratterizzanti i giorni di cui si voglia studiare la dispersione.

Il formato con cui deve essere scritto tale file deve essere uno dei seguenti:

- TD 3280 Variable-Length Blocks,
- TD 3280 Fixed-Length Blocks,
- TD 3505-ISHD,
- CD-144,
- HUSWO,
- SCRAM,
- SAMSON.

I dati grezzi descritti e commentati precedentemente sono quindi stati riorganizzati nel formato “SCRAM”, che caratterizza le condizioni superficiali con intervalli di 60 minuti.

1617020010100999330020320000
1617020010101999330010280000
1617020010102999220010300000

Tabella 5-7 Esempio di alcune righe di un file scritto in formato “SCRAM”

Per leggere il file, il software associa ad ogni posizione di un carattere all’interno della stringa di testo un preciso significato; di seguito viene indicato il significato di ogni cifra a secondo della casella che occupa:

- 1-5: indicano il codice della postazione meteorologica che ha registrato i dati; nell’esempio mostrato è stata denominata “16170”;
- 6-7: indicano l’anno che si sta considerando; l’esempio riguarda l’anno 2020 che viene indicato con le ultime due cifre “20”;
- 8-9: viene specificato il mese, nell’esempio siamo a gennaio: “01”;
- 10-11: anche il giorno viene indicato con due cifre, nell’esempio siamo al primo giorno di gennaio: “01”;
- 12-13: si specifica l’ora, lasciando vuota la prima casella nel caso di numeri ad una sola cifra;
- 14-16: viene indicata l’altezza a cui si trovano le nuvole, espressa in centinaia di piedi;
- 17-18: indicano la direzione del vento, espressa come decine di gradi (esempio $130^\circ = 13$);
- 19-21: si indica la velocità del vento, espressa in nodi (001 Knot= 1853 m/h);
- 22-24: la temperatura espressa in questa tre caselle è indicata in gradi Fahrenheit (si ricorda la relazione: $T^\circ f = 9/5 (T^\circ c + 32)$);
- 25-28: si indica la quantità di nuvole: le prime due cifre, in una scala che va da zero a dieci, indicano la percentuale di nuvole presenti su tutta la zona, mentre le seconde due cifre, con la medesima scala, indicano la foschia presente sopra il sedime.

Il file così costruito è poi trattato mediante in preprocessore meteorologico Rammet, che analizza i dati e li riordina in modo da poter essere utilizzati dal software di simulazione.

Per inserire il file caratterizzante la situazione in quota, come definito in precedenza, si è scelto di utilizzare l'upper air estimator fornito dalla Lakes Environmental. Tale strumento consente di fornire, attraverso leggi di regressione, il profilo meteorologico in quota. Tale sistema è riconosciuto dalla FAA² ed alcune analisi sperimentali hanno dimostrato una buona approssimazione tra le concentrazioni stimate a partire dai dati in quota rispetto a quelle stimate attraverso l'uso dell'Upper Air Estimator³.

Gli input progettuali

La rete stradale di riferimento, i volumi e le velocità del traffico circolante

La rete stradale di riferimento e i volumi di traffico implementati all'interno del software Calroads coincidono con quelli considerati per l'analisi emissiva al precedente paragrafo, al quale si rimanda per maggiori dettagli.

Relativamente alle velocità medie di percorrenza, si è cercato di uniformarle quanto più possibile al fine di facilitare l'inserimento degli input nel modello. In particolare, è stata considerata una velocità di 130 km/h sull'Autostrada A1, una velocità di 100 km/h sulla SGC Firenze-Livorno-Pisa e una velocità compresa tra i 40 e i 60 km/h sulla restante viabilità limitrofa.

Metodologia di analisi per il calcolo dei fattori di emissione

Parte centrale del metodo di stima delle concentrazioni è la definizione dei fattori di emissione. La metodologia all'interno del modello Copert lega i fattori di emissione alla velocità media tenuta dai veicoli attraverso leggi di regressione determinate empiricamente. Tali equazioni dipendono dal veicolo considerato, in termini di legislazione emissiva e tipologia di veicolo (autoveicolo, veicolo commerciale, cilindrata o peso del mezzo ecc.).

Nel caso in esame pertanto, una volta stimata la composizione del parco veicolare circolante è stato poi valutato un fattore di emissione medio che aggregasse nei veicoli leggeri gli autoveicoli ed i veicoli commerciali leggeri, mentre nei veicoli pesanti i veicoli industriali pesanti e gli autobus. A tali categorie sono quindi state associate velocità differenti e fattori di emissione differenti. Effettuando poi la media pesata di tali valori è stato possibile determinare il fattore di emissione medio per la descrizione del parco veicolare complessivo. Il fattore di emissione rappresenta uno degli input di base del software Calroads, utilizzato per valutare le concentrazioni di inquinanti in atmosfera.

Composizione del parco veicolare circolante

Per la composizione del parco veicolare circolante allo stato attuale sulla rete stradale considerata per il caso in esame si può fare riferimento al Par. 5.1.

Fattori di emissione

Dalla conoscenza della tipologia di parco veicolare circolante e dalla velocità è stato possibile determinare un fattore di emissione per ogni inquinante per i veicoli leggeri e pesanti.

In particolare, una volta analizzato il parco veicolare presente, si è ricavata la percentuale di

2 http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/

3 Worldwide Data Quality Effects on PBL Short-Range Regulatory Air Dispersion Models – Jesse L. Thé, Russell Lee, Roger W. Brode

veicoli per ogni tipologia di veicolo. Per ognuna di queste si è effettuato il prodotto con il valore di picco dell'inquinante in ambito urbano, ottenuto come output da Copert, e si sono calcolati i fattori di emissione della singola tipologia di veicolo. Si è poi effettuato il calcolo finale relativo alla determinazione del fattore di emissione per la totalità dei veicoli leggeri e per quella dei pesanti.

Gli inquinanti considerati in Copert sono stati NO_x, PM₁₀ e VOC.

Applicando la stessa metodologia dell'analisi emissiva, dal valore del PM₁₀ si è poi ottenuto quello del PM_{2.5} (assumendo un rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ pari al 60%) e dai valori di VOC, in funzione dei coefficienti riportati in Figura 5-7, si è calcolato il valore del Benzene.

Di seguito sono riportati i fattori di emissione relativi all'NO_x, al PM₁₀, al PM_{2.5} e al Benzene, in funzione delle diverse velocità considerate.

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
130	NO_x	0.630	4.105
130	PM₁₀	0.049	0.177
130	PM_{2.5}	0.030	0.106
130	Benzene	0.0042	0.00015

Tabella 5-8 Fattore di emissione NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, Benzene per velocità di 130 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario attuale

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
100	NO_x	0.456	4.105
100	PM₁₀	0.041	0.177
100	PM_{2.5}	0.024	0.106
100	Benzene	0.005	0.00015

Tabella 5-9 Fattore di emissione NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, Benzene per velocità di 100 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario attuale

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
60	NO_x	0.389	4.321
60	PM₁₀	0.046	0.213
60	PM_{2.5}	0.028	0.128
60	Benzene	0.006	0.00020

Tabella 5-10 Fattore di emissione NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, Benzene per velocità di 60 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario attuale

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
50	NO_x	0.401	4.587
50	PM₁₀	0.051	0.235
50	PM_{2.5}	0.031	0.141
50	Benzene	0.007	0.00024

Tabella 5-11 Fattore di emissione NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, Benzene per velocità di 50 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario attuale

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
40	NOx	0.425	5.035
40	PM10	0.056	0.263
40	PM2.5	0.034	0.158
40	Benzene	0.008	0.00029

Tabella 5-12 Fattore di emissione NOx, PM10, PM2.5, Benzene per velocità di 40 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario attuale

Sulla base dei traffici forniti dallo studio trasportistico, conoscendo le percentuali di veicoli leggeri e pesanti circolanti su ogni infrastruttura considerata, è stato possibile ottenere un valore di fattore di emissione medio per ogni inquinante e per ogni strada, da utilizzare nelle simulazioni. Si evidenzia come il modello Calroads, per poter effettuare la stima delle concentrazioni necessiti di un fattore di emissione espresso in miglia e pertanto è stata effettuata la trasformazione da g/km*veicoli a g/miglia*veicolo (1km=0.6214 miglia).

Inquinante NOx				
Velocità [km/h]	% leggeri	% pesanti	Fattore di emissione medio [g/km*veic]	Fattore di emissione medio [g/miglia*veic]
130	72%	28%	1.60	2.58
100	90%	10%	0.82	1.32
60	94%	6%	0.62	1.01
50	93%	7%	0.69	1.12
40	87%	13%	1.02	1.65

Tabella 5-13 Fattore di emissione medio Ante Operam, in funzione della velocità, per l'inquinante NOx

Inquinante PM10				
Velocità [km/h]	% leggeri	% pesanti	Fattore di emissione medio [g/km*veic]	Fattore di emissione medio [g/miglia*veic]
130	72%	28%	0.09	0.14
100	90%	10%	0.05	0.09
60	94%	6%	0.06	0.09
50	93%	7%	0.06	0.10
40	87%	13%	0.08	0.13

Tabella 5-14 Fattore di emissione medio Ante Operam, in funzione della velocità, per l'inquinante PM10

Inquinante PM2.5				
Velocità [km/h]	% leggeri	% pesanti	Fattore di emissione medio [g/km*veic]	Fattore di emissione medio [g/miglia*veic]
130	72%	28%	0.05	0.08
100	90%	10%	0.03	0.05
60	94%	6%	0.03	0.05
50	93%	7%	0.04	0.06
40	87%	13%	0.05	0.08

Tabella 5-15 Fattore di emissione medio Ante Operam, in funzione della velocità, per l'inquinante PM2.5

Inquinante Benzene				
Velocità [km/h]	% leggeri	% pesanti	Fattore di emissione medio [g/km*veic]	Fattore di emissione medio [g/miglia*veic]
130	72%	28%	0.003	0.005
100	90%	10%	0.004	0.007
60	94%	6%	0.006	0.010
50	93%	7%	0.007	0.011
40	87%	13%	0.007	0.012

Tabella 5-16 Fattore di emissione medio Ante Operam, in funzione della velocità, per l'inquinante Benzene

I ricettori

I ricettori inseriti nel modello rappresentano i punti di calcolo dove il software effettua la simulazione e la stima delle concentrazioni generate dalle sorgenti di traffico.

A tale scopo, sono stati considerati 5 ricettori residenziali ("R"), rappresentativi dei centri abitati in prossimità dell'area di studio, a cui è stata attribuita un'altezza di 1.8m (coincidente con l'altezza media di un bersaglio umano).

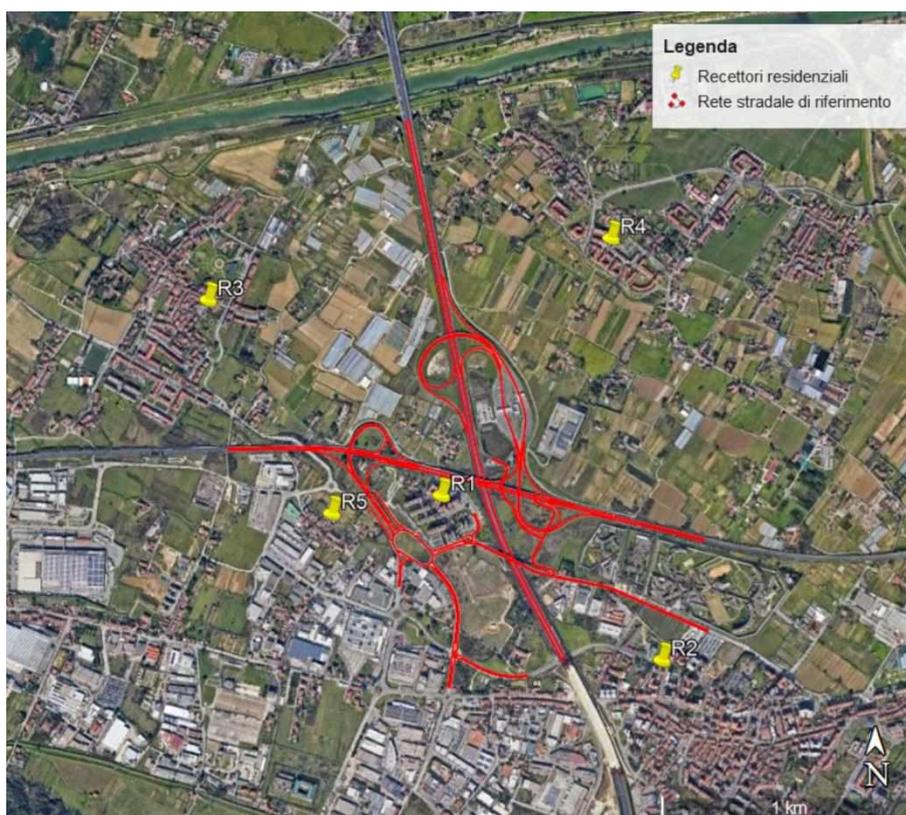


Figura 5-8 Localizzazione punti ricettori

Punto	Coordinate X	Coordinate Y	Altezza di calcolo
R1	673879	4848814	1,8
R2	674759	4848189	1,8
R3	672948	4849559	1,8
R4	674517	4849843	1,8
R5	673453	4848732	1,8

Tabella 5-17 Punti ricettori

Inoltre, per avere contezza dell'andamento delle concentrazioni in prossimità della sede stradale e, allo stesso tempo, descrivere una porzione di territorio sufficientemente ampia sono state definite due tipologie di maglie: una regolare ed una "buffer" caratterizzata da punti posti a distanze fissate dalla sorgente.

Per la prima tipologia di maglia, regolare, le caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Coordinate del centro della maglia Asse X	674004,21
Coordinate del centro della maglia Asse Y	4848950,10
Passo lungo l'asse X	200
Passo lungo l'asse Y	200
N° di punti lungo l'asse X	21
N° di punti lungo l'asse Y	21
N° di punti di calcolo totali	441

Altezza relativa sottomaglia di calcolo	1,8 m
--	-------

Tabella 5-18 Coordinate maglia dei punti di calcolo

Relativamente alla maglia "buffer" sono stati individuati una serie di punti ad una distanza di 75, 150 e 250 metri dall'infrastruttura in esame, distanti tra loro di 250 metri.

Distanza laterale dall'infrastruttura 1° buffer	75 m
Distanza laterale dall'infrastruttura 2° buffer	150 m
Distanza laterale dall'infrastruttura 3° buffer	250 m
Distanza longitudinale tra i punti	250 m
Punti totali della maglia buffer	816
Altezza relativa sottomaglia di calcolo	1,8 m

Tabella 5-19 Caratteristiche "maglia buffer"

Le concentrazioni di inquinante risultanti delle simulazioni ante operam

A valle dell'applicazione delle simulazioni condotte per lo scenario ante operam, mediante Calroads, sono stati ottenuti i valori di concentrazioni degli inquinanti NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} e Benzene in prossimità dei ricettori individuati e delle maglie di calcolo. Si specifica che, al fine di effettuare il confronto con i limiti normativi, per valutare il rispetto del limite per la protezione umana, l'NO_x è stato trasformato in NO₂ attraverso la formulazione stimata al Par. 3.3.

Per quanto riguarda le concentrazioni degli inquinanti valutate in prossimità delle maglie di calcolo si può far riferimento agli elaborati:

- Tavola 3 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: NO₂ media annua;
- Tavola 4 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: C₆H₆;
- Tavola 5 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: PM₁₀ media annua;
- Tavola 6 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: PM_{2.5};
- Tavola 14 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: NO₂ massimo orario;
- Tavola 15 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: PM₁₀ massimo giornaliero;

Relativamente alle concentrazioni di inquinanti calcolate presso i ricettori puntuali per la salute umana si può far riferimento alla Tabella sottostante.

Ri-cet-tori	Media annua delle concentrazioni di NO₂ [µg/m³]	Max orari delle concentrazioni di NO₂ [µg/m³]	Media annua delle concentrazioni di PM₁₀ [µg/m³]	Max giornalieri delle concentrazioni di PM₁₀ [µg/m³]	Media annua delle concentrazioni di PM_{2.5} [µg/m³]	Media annua delle concentrazioni di C₆H₆ [µg/m³]
R1	26.989	87.306	1.4449	3.596	0.869	0.121
R2	4.347	58.329	0.170	1.276	0.102	0.014
R3	6.327	39.891	0.224	0.825	0.134	0.018
R4	6.838	42.140	0.252	1.091	0.151	0.021
R5	12.951	53.107	0.653	2.139	0.392	0.058

Tabella 5-20 Valori delle concentrazioni di NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} e Benzene ante operam per i ricettori residenziali

Dall'analisi dei valori di concentrazione emersi dallo studio modellistico, il recettore più critico risulta essere R1 per tutti e quattro gli inquinanti considerati. Nello specifico, per quanto riguarda l'NO₂, il valore di concentrazione media annua in R1 risulta pari a 26,989 µg/m³ (rappresentativo di circa il 67% del limite normativo pari a 40 µg/m³) mentre il massimo orario è di 87,306 µg/m³ (44% sul limite normativo). La stima del massimo orario e il rispetto del limite normativo per tale valore risulta essere cautelativo rispetto alla stima del 99,8%, corrispondente al 18° massimo valore orario. Sostanzialmente, riscontrare che il massimo valore orario di NO₂ risulta essere inferiore al limite normativo di 200 µg/m³ è conseguentemente correlato all'assenza di superamenti per il limite del 99,8%. Relativamente al PM₁₀, in R1 la concentrazione media annua risulta essere pari a 1,449 µg/m³ (rappresentativo del 4% rispetto al limite normativo) e il massimo giornaliero, invece, è pari a 3,596 µg/m³ (7% del limite normativo). Analoghe considerazioni fatte per i massimi orari di NO₂ possono essere fatte anche per il PM₁₀ rispetto alla stima del 90,4%, corrispondente al 35° massimo valore giornaliero. La concentrazione media annua di PM_{2.5} è risultata essere pari a 0,869 µg/m³ in R1 (3,5% del limite normativo), mentre per il Benzene si registra un valore di concentrazione media annua pari a 0,121 µg/m³ (circa 2% del limite normativo).

Qui di seguito, si riportano i risultati della simulazione con l'aggiunta del fondo rilevato dalla centralina Arpa di Firenze-Bassi per il Benzene e di Firenze-Scandicci per gli altri inquinanti e si confronta il totale con i limiti normativi.

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di NO ₂ [µg/m ³]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [µg/m ³]	Totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]	Percentuale sul totale
R1	26.989	25.52	52.509	40	51%
R2	4.347	25.52	29.867	40	15%
R3	6.327	25.52	31.847	40	20%
R4	6.838	25.52	32.358	40	21%
R5	12.951	25.52	38.471	40	34%

Tabella 5-21 Verifica dei limiti normativi per i valori medi annui di concentrazione di NO₂ ante operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Massimo orario delle concentrazioni di NO ₂ [µg/m ³]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [µg/m ³]	Totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]	Percentuale sul totale
R1	87.306	25.52	112.826	200	77%
R2	58.329	25.52	83.849	200	70%
R3	39.891	25.52	65.411	200	61%
R4	42.140	25.52	67.660	200	62%
R5	53.107	25.52	78.627	200	68%

Tabella 5-22 Verifica dei limiti normativi per i massimi orari di concentrazione di NO2 ante operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di PM10 [µg/m³]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [µg/m³]	Totale [µg/m³]	Limite normativo [µg/m³]	Percentuale sul totale
R1	1.449	20.48	21.929	40	7%
R2	0.170	20.48	20.650	40	1%
R3	0.224	20.48	20.704	40	1%
R4	0.252	20.48	20.732	40	1%
R5	0.653	20.48	21.133	40	3%

Tabella 5-23 Verifica dei limiti normativi per i valori medi annui di concentrazione di PM10 ante operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Massimo giornaliero delle concentrazioni di PM10 [µg/m³]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [µg/m³]	Totale [µg/m³]	Limite normativo [µg/m³]	Percentuale sul totale
R1	3.596	20.48	24.076	50	18%
R2	1.276	20.48	21.756	50	6%
R3	0.825	20.48	21.305	50	4%
R4	1.091	20.48	21.571	50	5%
R5	2.139	20.48	22.619	50	10%

Tabella 5-24 Verifica dei limiti normativi per i massimi giornalieri di concentrazione di PM10 ante operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di PM2.5 [µg/m³]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [µg/m³]	Totale [µg/m³]	Limite normativo [µg/m³]	Percentuale sul totale
R1	0.869	12.29	13.159	25	7%
R2	0.102	12.29	12.392	25	1%
R3	0.134	12.29	12.424	25	1%
R4	0.151	12.29	12.441	25	1%
R5	0.392	12.29	12.682	25	3%

Tabella 5-25 Verifica dei limiti normativi per i valori medi annui di concentrazione di PM2,5 ante operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di C6H6 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Bassi [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentuale sul totale
R1	0.121	1.23	1.351	5	8.9%
R2	0.014	1.23	1.244	5	1.2%
R3	0.018	1.23	1.248	5	1.5%
R4	0.021	1.23	1.251	5	1.7%
R5	0.058	1.23	1.288	5	4.5%

Tabella 5-26 Verifica dei limiti normativi per i valori medi annui di concentrazione di Benzene ante operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Alla luce dei valori di qualità dell'aria totale in prossimità dei ricettori individuati, i limiti normativi risultano rispettati per tutti gli inquinanti ad eccezione delle medie annue di NO₂, per le quali, con l'aggiunta del valore di fondo, si ha un superamento in prossimità di R1.

Bisogna tuttavia precisare che la curva di interpolazione, riportata nel Paragrafo 3.3, attraverso la quale è stato possibile determinare i valori di concentrazione oraria e media annua a partire dai rispettivi valori di concentrazione di ossidi di azoto, tende a sovrastimare le concentrazioni di NO₂ rispetto a quanto effettivamente atteso. Come si può osservare in Figura 5-9, in cui viene riportato l'andamento della curva di interpolazione per bassi valori di ossidi di azoto e il relativo rapporto NO₂/NO_x, per range di concentrazioni di NO_x compresi tra 0 e 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le concentrazioni stimate di NO₂ risultano essere superiori a quest'ultime, per poi diminuire ed essere inferiori agli ossidi di azoto per concentrazioni di NO_x maggiori a 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Da ciò ne deriva, valutando il rapporto NO₂/NO_x, un andamento decrescente per tale parametro con un massimo assoluto, pari a 1,2 per valori di NO_x pressoché nulli, per poi diminuire e raggiungere un valore di 0,85 per valori di ossidi di azoto pari a $\mu\text{g}/\text{m}^3$

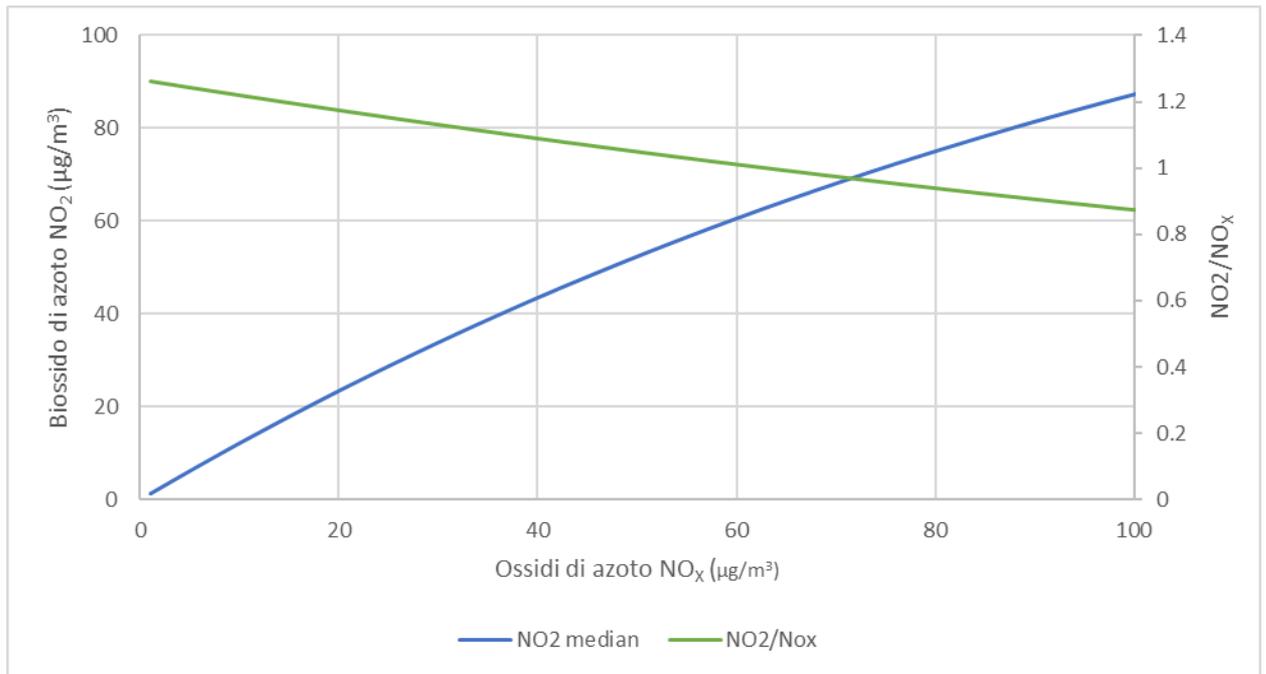


Figura 5-9 Andamento dell'equazione di interpolazione dei valori di NO₂ e rapporto NO₂/NO_x a partire dalle concentrazioni di NO_x (µg/ m³) (fonte: ARPAT)

A conferma della sovrastima delle concentrazioni di NO₂ utilizzando la legge di regressione polinomiale illustrata nella Figura soprastante, si riporta in Figura 5-10 l'andamento della polinomiale utilizzata nel presente studio rispetto ai valori di concentrazione oraria di NO_x e NO₂ registrati dalla centralina di Firenze "Scandicci" per l'anno 2019. Come si può osservare, la curva di interpolazione definisce valori di biossido di azoto maggiori rispetto ai valori monitorati oltre i 100 µg/m³, mentre per valori inferiori ai 100 µg/m³ risulta essere unicamente rappresentativa, dei suoi massimi valori di concentrazione oraria.

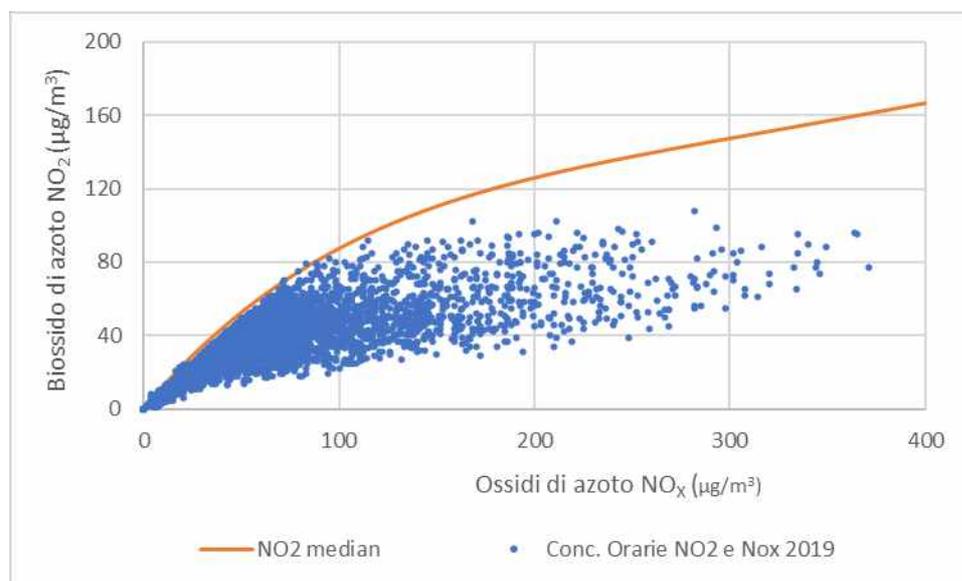


Figura 5-10 Andamento legge polinomiale ARPAT e concentrazioni NO₂ e NO_x registrate nel 2019 dalla centralina di Firenze Scandicci

In virtù di quanto esposto, è dunque possibile affermare che il metodo di stima utilizzato nel presente Studio Ambientale dei valori di concentrazione media annua di NO₂ risulta essere particolarmente cautelativo, in quanto la curva di interpolazione utilizzata è unicamente rappresentativa dei massimi valori di concentrazione media oraria per la centralina di riferimento, mentre risulta sovrastimare i valori di concentrazione media annua di biossido di azoto.

6 L'ANALISI MODELLISTICA DELLO SCENARIO DI PROGETTO

6.1 L'ANALISI EMISSIVA

Metodologia di analisi

La stessa metodologia applicata per simulare lo stato attuale viene replicata per lo scenario di progetto, il cui anno di riferimento coincide con quello in cui è previsto l'esercizio del progetto in esame, ossia il 2036. Analogamente al precedente scenario, la stima delle emissioni generate dal traffico veicolare per lo scenario di progetto è stata possibile mediante il modello di simulazione Copert Street Level. All'interno del software sono stati implementati i principali parametri di input, quali: la rete stradale di riferimento per lo scenario post operam, i volumi di traffico derivanti dallo studio trasportistico previsti al 2036, le velocità medie di percorrenza per ogni ramo della rete ed il parco veicolare futuro.

Di seguito si riportano i principali input presi in considerazione per le analisi modellistiche dello scenario post operam e le risultanze emissive in termini di NOx, PM10, PM2.5 e Benzene.

Dati di input del modello

La rete stradale di riferimento, i volumi e le velocità del traffico circolante

In Figura 6-1 è rappresentata la rete stradale considerata per il calcolo modellistico delle emissioni. Come per lo scenario attuale, la rete comprende l'Autostrada A1, la SGC Firenze-Livorno-Pisa e le principali strade limitrofe, nonché lo svincolo in progetto. In figura sono riportati, inoltre, i codici dei singoli archi implementati nel software e le velocità medie di percorrenza.

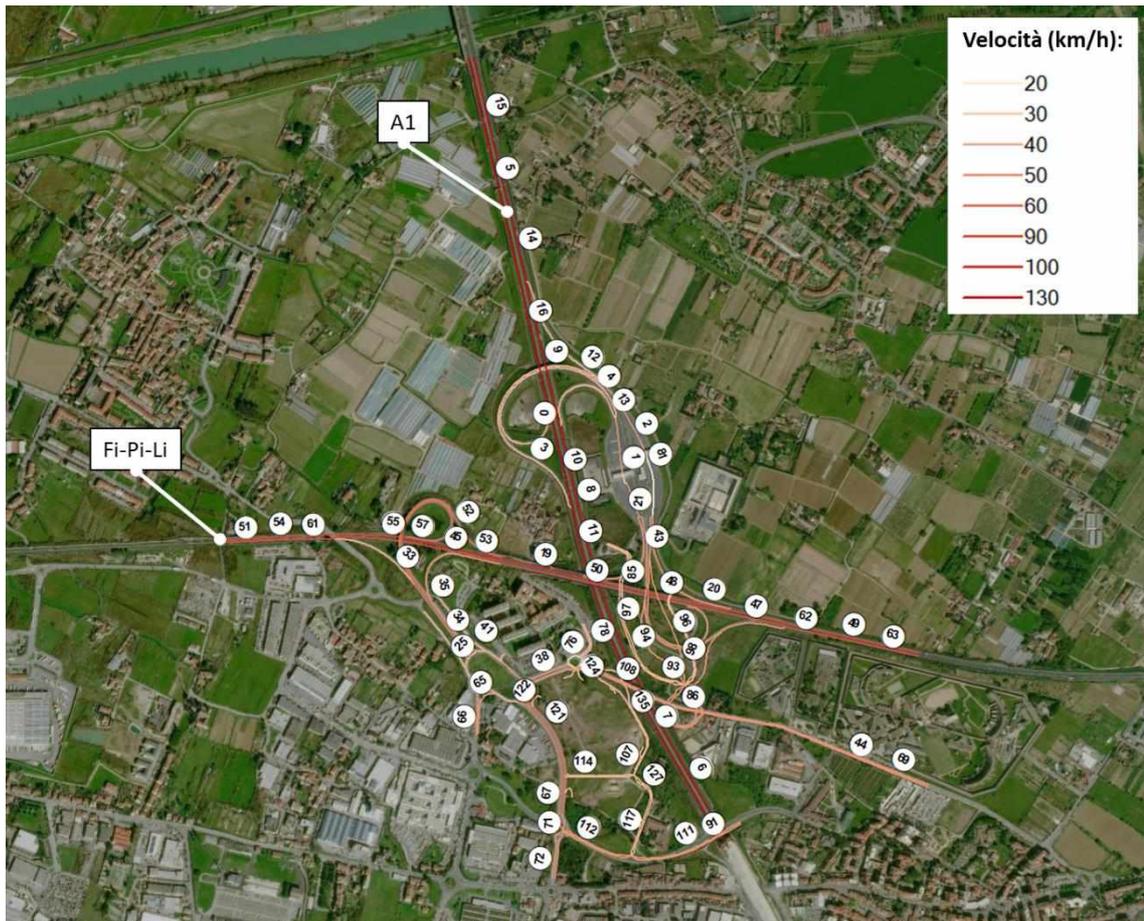


Figura 6-1: Rete di riferimento per l'analisi emissiva dello stato di progetto e velocità di percorrenza

In Tabella 6-1, inoltre, si riportano i volumi di traffico distinti per veicoli leggeri e pesanti circolanti nella configurazione di progetto, espressi in TGM.

Link	TGM Leggeri	TGM Pesanti									
0	13826	1413	35	5588	714	70	6232	373	105	6269	650
1	27652	2825	36	6232	373	71	5728	134	106	1959	36
2	29480	3004	37	14761	549	72	7292	306	107	1526	78
3	14739	1502	38	9096	343	73	4339	133	108	13153	466
4	13826	1412	39	7617	743	74	4339	133	109	13310	921
5	38963	20690	40	7617	743	75	7292	306	110	4922	87
6	39563	18675	41	6148	480	76	472	19	111	2712	118
7	38816	18967	42	8806	614	77	15123	525	112	2888	194
8	39563	18675	43	13031	1791	78	109	42	113	2888	194
9	41965	20867	44	5233	220	79	11	74	114	344	0
10	38816	18967	45	25437	2392	80	19158	1600	115	0	0
11	38816	18967	46	10329	1075	81	29480	3004	116	3766	87
12	14741	1502	47	20697	2031	82	27652	2825	117	1559	78
13	13826	1413	48	21476	1688	83	13031	1791	118	3358	134
14	41965	20867	49	33243	2886	84	14620	1033	119	32	0
15	41965	20867	50	31026	3107	85	14620	1033	120	0	0
16	38963	20690	51	29570	3926	86	9543	834	121	3704	134
17	13826	1412	52	11822	332	87	3704	134	122	0	0

Link	TGM Leggeri	TGM Pesanti									
18	27652	2825	53	22684	3147	88	14679	545	123	578	0
19	34508	3479	54	24694	3397	89	1141	27	124	325	0
20	11766	1198	55	24694	3397	90	546	18	125	3766	87
21	29480	3004	56	15955	1865	91	3625	193	126	1155	0
22	10073	1331	57	2008	250	92	5337	128	127	3766	87
23	19171	1675	58	7598	965	93	70	0	128	0	0
24	13009	1119	59	9096	343	94	6	0	129	5728	134
25	5411	154	60	7617	743	95	17712	1806	130	2369	0
26	21367	2020	61	29570	3926	96	7383	730	131	3704	134
27	30175	2634	62	27868	2726	97	9004	452	132	3358	134
28	16723	1660	63	27868	2726	98	1554	113	133	3766	87
29	20220	2313	64	33243	2886	99	7169	694	134	0	0
30	13986	1939	65	3495	653	100	1141	27	135	3766	87
31	17691	2074	66	13450	974	101	5615	581	136	0	0
32	7598	965	67	6232	373	102	2992	179	137	546	18
33	4132	1533	68	3704	134	103	8029	410			
34	15955	1865	69	8115	235	104	9543	834			

Tabella 6-1: Dati di traffico sulla rete stradale di progetto

La composizione del parco veicolare futuro

Applicando l’analoga metodologia vista per l’analisi dello scenario ante operam, uno degli elementi fondamentali per la definizione delle emissioni è la caratterizzazione del parco veicolare in termini di tipologia di veicoli ed entità di traffico. I dati utili a tale scopo sono dati ufficiali forniti direttamente dall’Automobile Club d’Italia (ACI). Nel caso specifico si è fatto riferimento al parco veicolare italiano relativo al 2019, opportunamente rielaborato al fine di considerare lo sviluppo tecnologico futuro dei veicoli (l’ambito rappresentativo dell’area di studio è, come per lo scenario attuale, quello regionale).

Pertanto, essendo l’orizzonte temporale di riferimento per lo scenario post operam corrispondente all’anno 2036, sono state effettuate alcune ipotesi circa la sua composizione in relazione alle classi emissive e alla possibilità di rinnovo del parco stesso. In particolare, si è assunto, in via cautelativa, che le sole classi Euro 0 ed Euro 1 venissero sostituite, aumentando la numerosità delle Euro 6. Tale assunto appare ampiamente cautelativo considerando che lo standard emissivo Euro 2 è stato codificato nel 1997 e pertanto risulta chiaro come un veicolo Euro 2 nel 2036 avrebbe minimo 39 anni.

Oltre a tali assunzioni, la stima della composizione del parco veicolare allo scenario non ha in alcun modo preso in considerazione le auto elettriche. Tale assunzione risulta essere alquanto cautelativa, in quanto le emissioni di inquinanti associate ai veicoli ad alimentazione elettrica è pressoché nulla per la totalità degli inquinanti e, pertanto, considerare una percentuale di veicoli allo scenario di progetto avrebbe comportato una diminuzione dei livelli emissivi e, conseguentemente, dei valori di concentrazione stimati.

Le tipologie veicolari che sono state considerate riguardano:

- autovetture, distinte per tipologia di alimentazione;
- veicoli industriali leggeri, distinti per tipologia di alimentazione;

- veicoli industriali pesanti, distinti per tipologia di alimentazione;
- trattori stradali, distinti per tipologia di alimentazione;
- autobus, distinti per uso.

Autovetture Regione Toscana - Scenario futuro									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non identificato	TOTALE
BENZINA	Fino a 1400	87.317	118.154	264.624	149.542	367.327		964	987.928
	1401 - 2000	24.428	15.870	34.361	13.531	64.969		179	153.338
	Oltre 2000	2.121	1.765	3.460	1.024	10.396		33	18.799
	Non definito	1			1	28			30
BENZINA Totale		113.867	135.789	302.445	164.098	442.720		1.176	1.160.095
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 1400	2.094	2.503	38.018	29.763	52.521		5	124.904
	1401 - 2000	2.927	1.785	8.241	6.550	13.324		10	32.837
	Oltre 2000	319	284	774	47	694		2	2.120
	Non definito	1	1			1			3
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		5.341	4.573	47.033	36.360	66.540		17	159.864
BENZINA E METANO	Fino a 1400	1.605	1.385	19.159	26.786	25.747		2	74.684
	1401 - 2000	1.202	1.321	5.435	736	3.068			11.762
	Oltre 2000	54	26	199	28	111			418
	Non definito					1			1
BENZINA E METANO Totale		2.861	2.732	24.793	27.550	28.927		2	86.865
GASOLIO	Fino a 1400	115	17.584	78.288	61.503	49.306		2	206.798
	1401 - 2000	17.602	71.555	142.228	184.541	394.680		6	810.612
	Oltre 2000	13.607	24.145	27.145	21.186	45.961		5	132.459
	Non definito	31.324	113.284	247.661	267.230	489.947		13	1.149.459
GASOLIO Totale		53.548	115.568	252.726	274.366	589.894		26	1.579.628
ELETTRICITÀ	Non contemplato						0	2.812	2.812
ELETTRICITÀ Totale							0	2.812	2.812
IBRIDO BENZINA	Fino a 1400			31	297	1.320			1.648
	1401 - 2000			185	2.054	10.961			13.200
	Oltre 2000			97	84	2.257		1	2.439
	Non definito					1			1
IBRIDO BENZINA Totale			313	2.435	14.539			1	17.288
IBRIDO GASOLIO	1401 - 2000				81	974			1.055
	Oltre 2000				18	339			357
IBRIDO GASOLIO Totale					99	1.313			1.412
ALTRE	Fino a 1400					45			45
ALTRE Totale						45			45
NON DEFINITO	Fino a 1400		1			24		10	35
	1401 - 2000			1		6			7
	Oltre 2000		1			0		1	2
	Non definito			2		19			34
NON DEFINITO Totale			2	3	49	49		24	78
		153.393	256.380	622.248	497.772	1.044.080	2.812	1.233	2.577.918

Tabella 6-2: Suddivisione Autovetture, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

Veicoli industriali leggeri Regione Toscana - Scenario futuro									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5	2.633	2.735	2.782	1.261	8.539		61	18.011
	Non definito		1	1	1	316		4	323
BENZINA Totale		2.633	2.736	2.783	1.262	8.855		65	18.334
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5	131	224	2.099	818	2.723		1	5.996
	Non definito		2			101			103
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		131	226	2.099	818	2.824		1	6.099
BENZINA E METANO	Fino a 3,5	80	169	1.783	2.408	4.798		1	9.239
	Non definito					7			7
BENZINA E METANO Totale		80	169	1.783	2.408	4.805		1	9.246
GASOLIO	Fino a 3,5	30.819	50.009	48.630	50.567	101.297		21	281.343
	Non definito	7	11	4	25	2.428		3	2.478
GASOLIO Totale		30.826	50.020	48.634	50.592	103.725		24	283.821
ELETTRICITÀ	Non contemplato					0	1.003		1.003
ELETTRICITÀ Totale						0	1.003		1.003
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5		1		1	61			63
	Non definito					1			1
IBRIDO BENZINA Totale			1		1	62			64
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5			3	1	33			37
	Non definito			3	1	33			37
IBRIDO GASOLIO Totale				3	1	33			37
ALTRE	Fino a 3,5					4			4
	Non definito					1			1
ALTRE Totale						5			5
NON DEFINITO	Fino a 3,5					2			2
	Non definito					1		1	2
NON DEFINITO Totale						3		1	4
		33.670	53.152	55.302	55.082	120.312	1.003	92	318.613

Figura 6-2: Suddivisione Veicoli leggeri, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

Veicoli industriali pesanti Regione Toscana - Scenario futuro								
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non definito	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5	3	8	5		125	3	144
BENZINA Totale		3	8	5		125	3	144
BENZINA E GAS LIQUIDO	Oltre 3,5					26		26
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale						26		26
BENZINA E METANO	Oltre 3,5	1	5	2	23	67		98
BENZINA E METANO Totale		1	5	2	23	67		98
GASOLIO	3,6 - 7,5	1.332	2.023	960	1.189	5.106	29	10.639
	7,6 - 12	1.196	1.564	267	751	3.717	12	7.507
	12,1 - 14	91	198	56	173	676	6	1.200
	14,1 - 20	892	1.271	219	806	2.168	15	5.371
	20,1 - 26	1.092	1.497	182	1.367	3.083	6	7.227
	26,1 - 28	1	3		1	53		58
	28,1 - 32	268	616	105	423	293		1.705
	Oltre 32	37	39	13	52	111	1	253
GASOLIO Totale		4.909	7.211	1.802	4.762	15.207	69	33.960
NON DEFINITO	3,6 - 7,5					0	1	1
	7,6 - 12					0	1	1
	12,1 - 14					1		1
	14,1 - 20		1			0		1
NON DEFINITO Totale			1			1	2	4
		4.913	7.225	1.809	4.785	15.426	74	34.232

Tabella 6-3: Suddivisione Veicoli pesanti, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

Autobus Regione Toscana - Scenario futuro								
USO	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
Noleggio	186	257	164	288	745			1.640
Privato	199	232	116	82	329		5	963
Pubblico	560	870	81	501	968		1	2.981
Altri usi	12	3	1		22			38
Non contemplato					0	46		46
	957	1.362	362	871	2.064	46	6	5.668

Tabella 6-4: Suddivisione Autobus, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

Al fine di facilitare la lettura delle tabelle, è possibile osservare i grafici sottostanti in cui vengono riportati, in termini percentuali, i dati relativi ad ogni tipologia veicolare considerata.

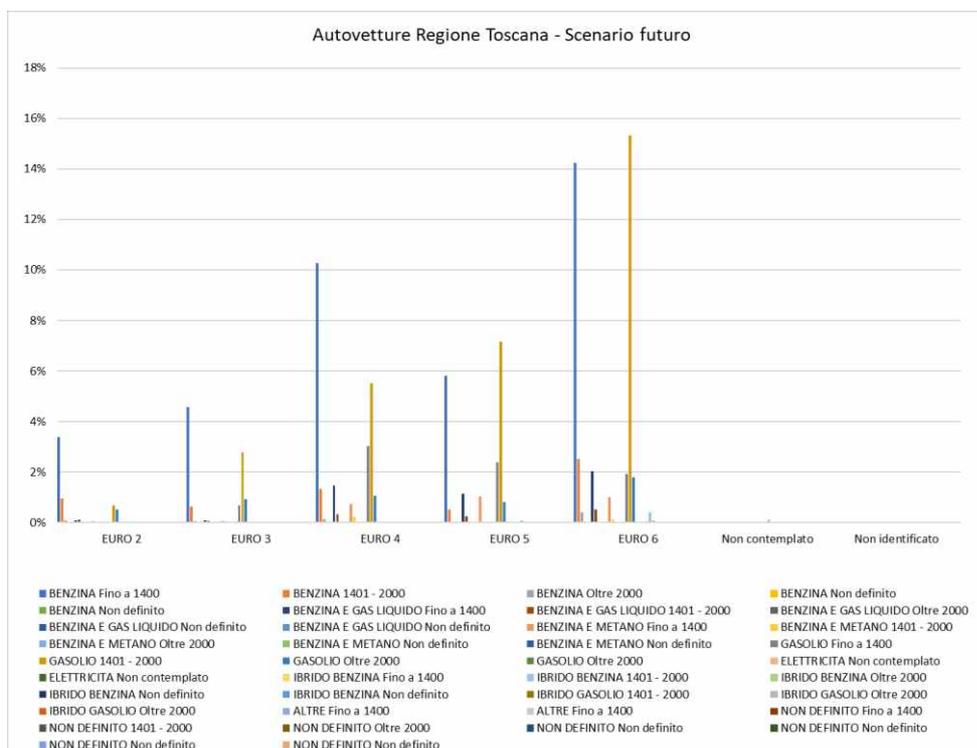


Figura 6-3: Suddivisione percentuale Autovetture, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

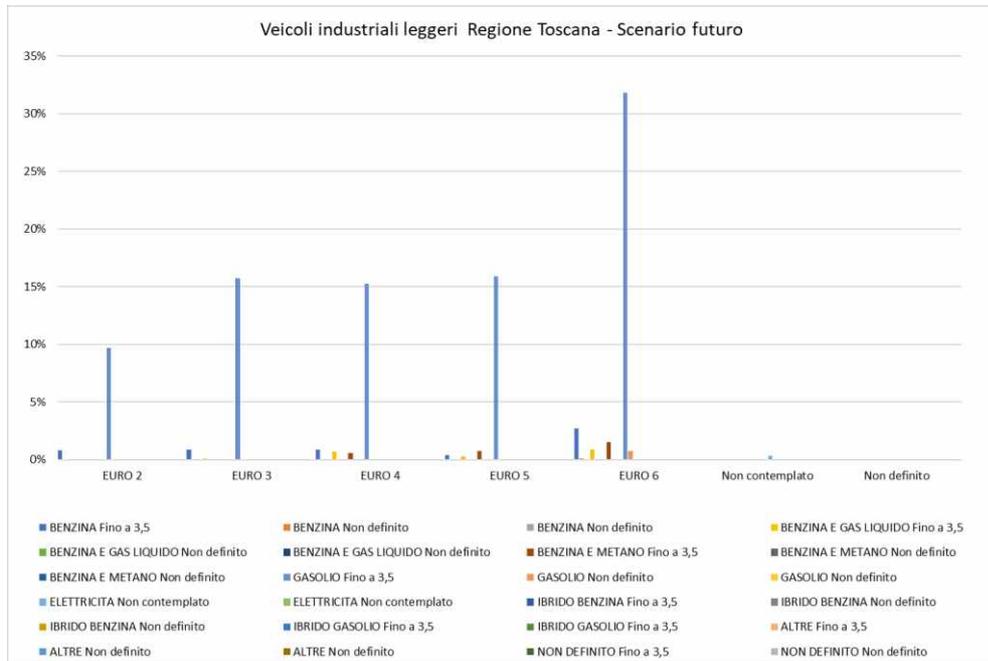


Figura 6-4: Suddivisione percentuale Veicoli leggeri, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

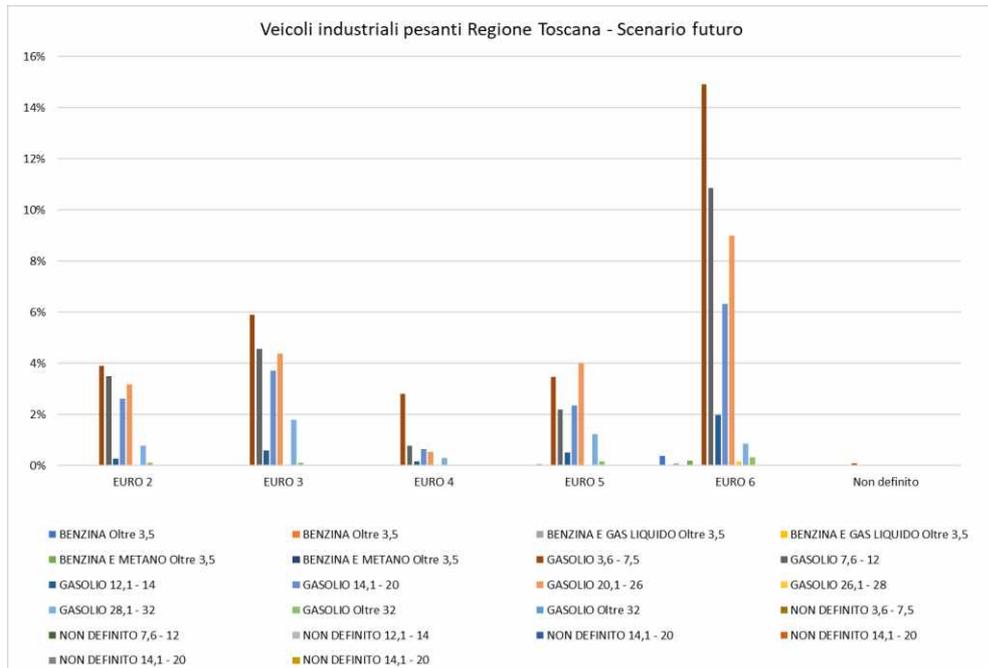


Figura 6-5: Suddivisione percentuale Veicoli pesanti, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

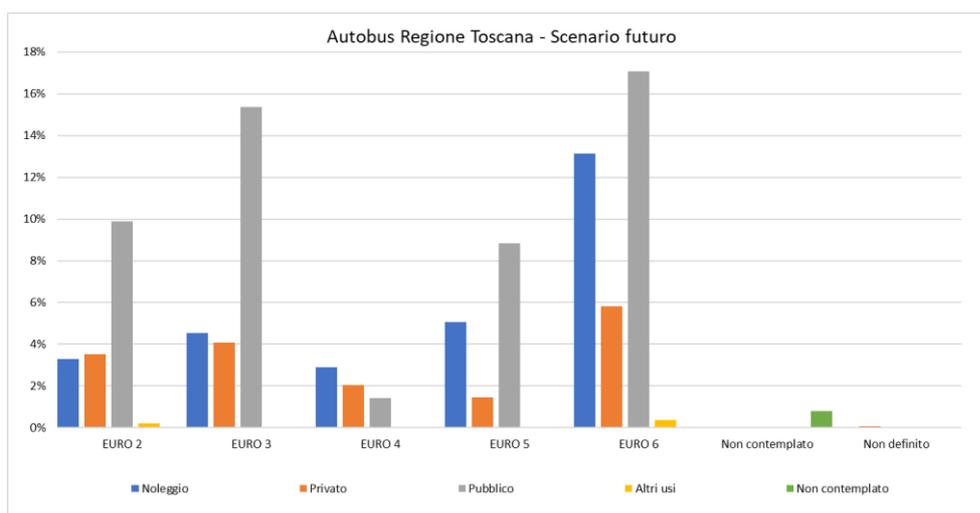


Figura 6-6: Suddivisione percentuale Autobus, Regione Toscana (fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

L'output del modello di simulazione emissivo per lo scenario post operam

Gli input sopra definiti sono stati implementati all'interno del software di calcolo Copert Street Level, grazie al quale è stato possibile stimare le emissioni annuali prodotte dai diversi rami della rete stradale di riferimento.

Gli inquinanti considerati in Copert Street Level sono stati NOx, PM10 e VOC.

Come per lo scenario attuale, dal valore del PM10, calcolato come la somma dei contributi emissivi derivanti da PM "exhaust" e "non exhaust" (cfr. Paragrafo 5.1), si è poi ottenuto quello del PM2.5 (assumendo un rapporto PM2.5/PM10 pari al 60%) e dai valori di VOC, in funzione dei coefficienti riportati in Figura 5-7, si è calcolato il valore del Benzene.

Per una rappresentazione grafica delle emissioni di NOx, PM10, PM2.5 e Benzene sull'intera rete stradale di progetto si rimanda all'elaborato grafico "Tavola 2 - Planimetria delle emissioni-Scenario di progetto".

Di seguito si riportano i risultati tabellari dell'analisi emissiva in termini di tonnellate/anno di NOx, PM10, PM2.5 e Benzene (C6H6) prodotte dal traffico veicolare futuro sulla rete stradale presa in considerazione (cfr. Tabella 6-5):

Strada	NOx	PM10	PM2.5	Benzene
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
A1	154.335	5.966	3.580	0.182
Fi-Pi-Li	26.439	1.672	1.003	0.045
Altra viabilità limitrofa	40.056	2.300	1.380	0.079
Totale	220.829	9.937	5.962	0.306

Tabella 6-5: Emissioni annuali di NOx, PM10, PM2.5 e Benzene sulla rete stradale di progetto, espresse in tonnellate/anno

Rispetto alle emissioni regionali e provinciali prodotte dalla sorgente "Trasporti stradali" nel 2010, fornite dall'"Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente (IRSE)", è possibile evidenziare il basso contributo emissivo prodotto dai veicoli circolanti sulla rete di riferimento per l'analisi (cfr. Tabella 6-6):

Inquinanti	Emissioni totali sulla rete	Emissioni totali regionali	Emissioni totali provinciali	Contributo sulle emissioni regionali	Contributo sulle emissioni provinciali
	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(%)	(%)
NOx	220.83	38715	18559	0.57%	1.19%
PM10	9.93	3139	1283	0.32%	0.77%
PM2.5	5.96	2664	1175	0.22%	0.51%
Benzene	0.31	-	-	-	-

Tabella 6-6: Contributo emissivo della rete di riferimento rispetto alla rete stradale regionale e provinciale

6.2 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI

Gli input meteorologici

I dati meteorologici presi come riferimento per lo scenario di progetto sono gli stessi utilizzati per lo scenario attuale, ossia quelli registrati nel 2020 dalla stazione di Firenze Peretola, non potendo effettuare previsioni certe sul dato meteorologico futuro.

Gli input progettuali

La rete stradale di riferimento, i volumi e le velocità del traffico circolante

La rete stradale di riferimento e i volumi di traffico implementati all'interno del software Calroads coincidono con quelli considerati per l'analisi emissiva al precedente paragrafo, al quale si rimanda per maggiori dettagli.

Analogamente allo scenario attuale, relativamente alle velocità medie di percorrenza, si è cercato di uniformarle quanto più possibile al fine di facilitare l'inserimento degli input nel modello. In particolare, è stata considerata una velocità di 130 km/h sull'Autostrada A1, una velocità di 100 km/h sulla SGC Firenze-Livorno-Pisa e una velocità compresa tra i 40 e i 60 km/h sulla restante viabilità limitrofa.

Metodologia di analisi per il calcolo dei fattori di emissione

Per l'analisi delle concentrazioni degli inquinanti è stato utilizzato il medesimo software Calroads utilizzato per le simulazioni dello scenario attuale. Tale modello necessita di diversi input tra cui i fattori di emissione dei singoli inquinanti che si vogliono valutare. Pertanto, al fine di stimare correttamente tali fattori è stato utilizzato Copert, un altro modello matematico che lega i fattori di emissione alla velocità media tenuta dai veicoli attraverso leggi di regressione determinate empiricamente. Tali equazioni dipendono dal veicolo considerato, in termini di legislazione emissiva e tipologia di veicolo (autoveicolo, veicolo commerciale, cilindrata o peso del mezzo ecc.).

Nel caso in esame pertanto, una volta stimata la composizione del parco veicolare circolante futuro è stato poi valutato un fattore di emissione medio che aggregasse nei veicoli leggeri gli autoveicoli ed i veicoli commerciali leggeri, mentre nei veicoli pesanti i veicoli industriali pesanti e gli autobus.

A tali categorie sono quindi state associate velocità differenti e fattori di emissione differenti. Effettuando poi la media pesata di tali valori è stato possibile determinare il fattore di emissione medio per la descrizione del parco veicolare complessivo.

Composizione del parco veicolare circolante

Per la composizione del parco veicolare circolante allo stato di progetto sulla rete stradale considerata per il caso in esame si può fare riferimento al Par. 6.1.

Fattori di emissione

Come definito in precedenza, dalla conoscenza della tipologia di parco veicolare circolante e dalla velocità è stato possibile determinare un fattore di emissione per ogni inquinante per i veicoli leggeri e pesanti.

In particolare, una volta analizzato il parco veicolare futuro, si è ricavata la percentuale di veicoli per ogni tipologia di veicolo. Per ognuna di queste si è effettuato il prodotto con il valore di picco dell'inquinante in ambito urbano, ottenuto come output da Copert, e si sono calcolati i fattori di emissione della singola tipologia di veicolo. Si è poi effettuato il calcolo finale relativo alla determinazione del fattore di emissione per la totalità dei veicoli leggeri e per quella dei pesanti.

Gli inquinanti considerati in Copert sono stati NO_x, PM₁₀ e VOC.

Applicando la stessa metodologia dell'analisi emissiva, dal valore del PM₁₀ si è poi ottenuto quello del PM_{2.5} (assumendo un rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ pari al 60%) e dai valori di VOC, in funzione dei coefficienti riportati in Figura 5-7, si è calcolato il valore del Benzene.

Di seguito sono riportati i fattori di emissione relativi all'NO_x, al PM₁₀, al PM_{2.5} e al Benzene, in funzione delle diverse velocità considerate.

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
130	NO_x	0.486	2.078
130	PM₁₀	0.038	0.110
130	PM_{2.5}	0.023	0.066
130	Benzene	0.0007	0.00005

Tabella 6-7 Fattore di emissione NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, Benzene per velocità di 130 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario di progetto

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
100	NO_x	0.312	2.078
100	PM₁₀	0.032	0.110
100	PM_{2.5}	0.019	0.066
100	Benzene	0.0005	0.00005

Tabella 6-8 Fattore di emissione NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, Benzene per velocità di 100 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario di progetto

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
60	NO_x	0.262	2.329
60	PM₁₀	0.040	0.137
60	PM_{2.5}	0.024	0.082
60	Benzene	0.0004	0.00006

Tabella 6-9 Fattore di emissione NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, Benzene per velocità di 60 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario di progetto

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
50	NOx	0.278	2.547
50	PM10	0.044	0.150
50	PM2.5	0.026	0.090
50	Benzene	0.0004	0.00007

Tabella 6-10 Fattore di emissione NOx, PM10, PM2.5, Benzene per velocità di 50 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario di progetto

Velocità [km/h]	Inquinanti	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
40	NOx	0.305	2.887
40	PM10	0.049	0.166
40	PM2.5	0.029	0.100
40	Benzene	0.0005	0.00009

Tabella 6-11 Fattore di emissione NOx, PM10, PM2.5, Benzene per velocità di 40 km/h - veicoli leggeri e pesanti - Scenario di progetto

Sulla base dei traffici forniti dallo studio trasportistico al 2036, conoscendo le percentuali di veicoli leggeri e pesanti circolanti su ogni infrastruttura considerata, è stato possibile ottenere un valore di fattore di emissione medio per ogni inquinante e per ogni strada, da utilizzare nelle simulazioni. Si evidenzia come il modello Calroads, per poter effettuare la stima delle concentrazioni necessiti di un fattore di emissione espresso in miglia e pertanto è stata effettuata la trasformazione da g/km*veicoli a g/miglia*veicolo (1km=0.6214 miglia).

Inquinante NOx				
Velocità [km/h]	% leggeri	% pesanti	Fattore di emissione medio [g/km*veic]	Fattore di emissione medio [g/miglia*veic]
130	67%	33%	1.01	1.63
100	90%	10%	0.49	0.79
60	95%	5%	0.37	0.59
50	93%	7%	0.44	0.70
40	92%	8%	0.51	0.82

Tabella 6-12 Fattore di emissione medio Post Operam, in funzione della velocità, per l'inquinante NOx

Inquinante PM10				
Velocità [km/h]	% leggeri	% pesanti	Fattore di emissione medio [g/km*veic]	Fattore di emissione medio [g/miglia*veic]
130	67%	33%	0.06	0.10
100	90%	10%	0.04	0.06
60	95%	5%	0.04	0.07
50	93%	7%	0.05	0.08

Inquinante PM10				
Velocità [km/h]	% leggeri	% pesanti	Fattore di emissione medio [g/km*veic]	Fattore di emissione medio [g/miglia*veic]
40	92%	8%	0.06	0.09

Tabella 6-13 Fattore di emissione medio Post Operam, in funzione della velocità, per l'inquinante PM10

Inquinante PM2.5				
Velocità [km/h]	% leggeri	% pesanti	Fattore di emissione medio [g/km*veic]	Fattore di emissione medio [g/miglia*veic]
130	67%	33%	0.04	0.06
100	90%	10%	0.02	0.04
60	95%	5%	0.03	0.04
50	93%	7%	0.03	0.05
40	92%	8%	0.04	0.06

Tabella 6-14 Fattore di emissione medio Post Operam, in funzione della velocità, per l'inquinante PM2.5

Inquinante Benzene				
Velocità [km/h]	% leggeri	% pesanti	Fattore di emissione medio [g/km*veic]	Fattore di emissione medio [g/miglia*veic]
130	67%	33%	0.0005	0.001
100	90%	10%	0.0004	0.001
60	95%	5%	0.0004	0.001
50	93%	7%	0.0004	0.001
40	92%	8%	0.0005	0.001

Tabella 6-15 Fattore di emissione medio Post Operam, in funzione della velocità, per l'inquinante Benzene

I ricettori

I ricettori inseriti nel modello sono gli stessi valutati nelle simulazioni dello scenario attuale al fine di effettuare un confronto tra i diversi scenari, a valle dei risultati ottenuti.

Le concentrazioni di inquinante risultanti delle simulazioni post operam

A valle dell'applicazione delle simulazioni condotte per lo scenario post operam, mediante Calroads, sono stati ottenuti i valori di concentrazioni degli inquinanti NOx, PM10, PM2.5 e Benzene in prossimità dei ricettori individuati e delle maglie di calcolo. Si specifica che, al fine di effettuare il confronto con i limiti normativi, per valutare il rispetto del limite per la protezione umana, l'NOx è stato trasformato in NO2 attraverso la formulazione stimata al Par. 3.3.

Per quanto riguarda le concentrazioni degli inquinanti valutate in prossimità delle maglie di calcolo si può far riferimento agli elaborati:

- Tavola 7 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: NO₂ media annua;
- Tavola 8 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: C₆H₆;
- Tavola 9 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: PM₁₀ media annua;
- Tavola 10 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: PM_{2.5};
- Tavola 16 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: NO₂ massimo orario;
- Tavola 17 – Planimetria delle concentrazioni – Scenario attuale: PM₁₀ massimo giornaliero;

Relativamente alle concentrazioni di inquinanti calcolate presso i ricettori puntuali per la salute umana si può far riferimento alla Tabella sottostante.

Ri-cet-tori	Media annua delle concentrazioni di NO ₂ [µg/m ³]	Max orari delle concentrazioni di NO ₂ [µg/m ³]	Media annua delle concentrazioni di PM ₁₀ [µg/m ³]	Max giornalieri delle concentrazioni di PM ₁₀ [µg/m ³]	Media annua delle concentrazioni di PM _{2.5} [µg/m ³]	Media annua delle concentrazioni di C ₆ H ₆ [µg/m ³]
R1	19.951	67.519	1.111	2.615	0.667	0.014
R2	3.393	46.469	0.143	1.063	0.086	0.002
R3	4.712	29.261	0.169	0.642	0.101	0.002
R4	5.128	30.615	0.196	0.842	0.118	0.003
R5	9.233	37.626	0.509	1.652	0.305	0.006

Tabella 6-16 Valori delle concentrazioni di NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} e Benzene post operam per i ricettori residenziali

Dall'analisi dei valori di concentrazione emersi dallo studio modellistico, il recettore più critico risulta essere R1 per tutti e quattro gli inquinanti considerati. Nello specifico, per quanto riguarda l'NO₂, il valore di concentrazione media annua in R1 risulta pari a 19,951 µg/m³ (rappresentativo di circa il 50% del limite normativo pari a 40 µg/m³) mentre il massimo orario è di 67,519 µg/m³ (34% sul limite normativo). La stima del massimo orario e il rispetto del limite normativo per tale valore risulta essere cautelativo rispetto alla stima del 99,8%, corrispondente al 18° massimo valore orario. Sostanzialmente, riscontrare che il massimo valore orario di NO₂ risulta essere inferiore al limite normativo di 200 µg/m³ è conseguentemente correlato all'assenza di superamenti per il limite del 99,8%.

Relativamente al PM₁₀, in R1 la concentrazione media annua risulta essere pari a 1,111 µg/m³ (rappresentativo del 3% rispetto al limite normativo) e il massimo giornaliero, invece, è pari a 2,615 µg/m³ (5% del limite normativo). Analoghe considerazioni fatte per i massimi orari di NO₂ possono essere fatte anche per il PM₁₀ rispetto alla stima del 90,4%, corrispondente al 35° massimo valore giornaliero.

La concentrazione media annua di PM_{2.5} è risultata essere pari a 0,667 µg/m³ in R1 (3% del limite normativo), mentre per il Benzene si registra un valore di concentrazione media annua pari a 0,014 µg/m³ (circa 0,3% del limite normativo).

Qui di seguito, si riportano i risultati della simulazione con l'aggiunta del fondo rilevato dalla centralina Arpa di Firenze-Bassi per il Benzene e di Firenze-Scandicci per gli altri inquinanti e si confronta il totale con i limiti normativi.

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentuale sul totale
R1	19.951	25.52	45.471	40	44%
R2	3.393	25.52	28.913	40	12%
R3	4.712	25.52	30.232	40	16%
R4	5.128	25.52	30.648	40	17%
R5	9.233	25.52	34.753	40	27%

Tabella 6-17 Verifica dei limiti normativi per i valori medi annui di concentrazione di NO2 post operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Massimo orario delle concentrazioni di NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentuale sul totale
R1	67.519	25.52	93.039	200	73%
R2	46.469	25.52	71.989	200	65%
R3	29.261	25.52	54.781	200	53%
R4	30.615	25.52	56.135	200	55%
R5	37.626	25.52	63.146	200	60%

Tabella 6-18 Verifica dei limiti normativi per i massimi orari di concentrazione di NO2 post operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentuale sul totale
R1	1.111	20.48	21.591	40	5
R2	0.143	20.48	20.623	40	1
R3	0.169	20.48	20.649	40	1
R4	0.196	20.48	20.676	40	1
R5	0.509	20.48	20.989	40	2

Tabella 6-19 Verifica dei limiti normativi per i valori medi annui di concentrazione di PM10 post operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Massimo giornaliero delle concentrazioni di PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentuale sul totale
R1	2.615	20.48	23.095	50	13

Ricettori	Massimo giornaliero delle concentrazioni di PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentuale sul totale
R2	1.063	20.48	21.543	50	5
R3	0.642	20.48	21.122	50	3
R4	0.842	20.48	21.322	50	4
R5	1.652	20.48	22.132	50	8

Tabella 6-20 Verifica dei limiti normativi per i massimi giornalieri di concentrazione di PM10 post operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Scandicci [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentuale sul totale
R1	0.667	12.29	12.957	25	5
R2	0.086	12.29	12.376	25	1
R3	0.101	12.29	12.391	25	1
R4	0.118	12.29	12.408	25	1
R5	0.305	12.29	12.595	25	2

Tabella 6-21 Verifica dei limiti normativi per i valori medi annui di concentrazione di PM2,5 post operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di C6H6 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fondo rilevato dalla centralina di Firenze - Bassi [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentuale sul totale
R1	0.014	1.23	1.244	5	1.1%
R2	0.002	1.23	1.232	5	0.2%
R3	0.002	1.23	1.232	5	0.2%
R4	0.003	1.23	1.233	5	0.2%
R5	0.006	1.23	1.236	5	0.5%

Tabella 6-22 Verifica dei limiti normativi per i valori medi annui di concentrazione di Benzene post operam in prossimità dei ricettori "R" per la salute umana

Alla luce dei valori di qualità dell'aria totale in prossimità dei ricettori individuati, i limiti normativi risultano rispettati per tutti gli inquinanti ad eccezione delle medie annue di NO₂, per le quali, con l'aggiunta del valore di fondo, si ha un superamento in prossimità di R1. Bisogna tuttavia precisare che la curva di interpolazione utilizzata per stimare le concentrazioni orarie di biossido di azoto a partire dall'NO_x (cfr. Paragrafo 3.3), tende a sovrastimare le concentrazioni di NO₂ rispetto a quanto effettivamente atteso. Tale aspetto è stato ampiamente descritto e analizzato nel Paragrafo 5.2, a cui si rimanda per maggiori di dettagli.

7 CONFRONTO TRA SCENARIO ANTE E POST OPERAM

7.1 L'ANALISI EMISSIVA

Il presente paragrafo è volto al confronto delle analisi effettuate nei precedenti capitoli in termini di emissioni di inquinanti prodotti nei due scenari di riferimento (ante operam e post operam) al fine di verificare i benefici introdotti dal progetto in esame.

Come evidente nella tabella sottostante, nello scenario di progetto si verifica una consistente riduzione in termini emissivi rispetto allo stato attuale, attribuibile principalmente al miglioramento tecnologico dei veicoli stradali per il quale si è ipotizzata l'assenza dei veicoli Euro 0 ed Euro 1.

Confronto Post operam-Ante operam				
Tratta stradale	NOx	PM10	PM2.5	C6H6
A1	-18%	-12%	-12%	-56%
Fi-Pi-Li	-33%	-22%	-22%	-58%
Altra viabilità limitrofa	-11%	-24%	-24%	-53%
Totale	-19%	-17%	-17%	-55%

Tabella 7-1 Confronto emissioni ante operam e post prodotte dal traffico veicolare sulla rete stradale simulata

7.2 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI

Di seguito si riporta il confronto tra i valori di concentrazione di NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} e Benzene emersi dalle simulazioni modellistiche degli scenari ante e post operam.

Ricet- tori	Media annua delle concentrazioni di NO ₂ [µg/m ³]			Max orari delle concentrazioni di NO ₂ [µg/m ³]		
	Ante operam	Post Operam	Percentuale di riduzione tra Post e Ante operam	Ante operam	Post Operam	Percentuale di riduzione tra Post e Ante operam
R1	26.989	19.951	-26%	87.306	67.519	-23%
R2	4.347	3.393	-22%	58.329	46.469	-20%
R3	6.327	4.712	-26%	39.891	29.261	-27%
R4	6.838	5.128	-25%	42.140	30.615	-27%
R5	12.951	9.233	-29%	53.107	37.626	-29%

Tabella 7-2 Valori delle concentrazioni di NO₂ (medie annue e massimi orari) stimati per i due scenari in prossimità dei ricettori R per la protezione umana

Ricet- tori	Media annua delle concentrazioni di PM ₁₀ [µg/m ³]			Max giornalieri delle concentrazioni di PM ₁₀ [µg/m ³]		
	Ante operam	Post Operam	Percentuale di riduzione tra Post e Ante operam	Ante operam	Post Operam	Percentuale di riduzione tra Post e Ante operam
R1	1.449	1.111	-23%	3.596	2.615	-27%
R2	0.17	0.143	-16%	1.276	1.063	-17%
R3	0.224	0.169	-25%	0.825	0.642	-22%
R4	0.252	0.196	-22%	1.091	0.842	-23%
R5	0.653	0.509	-22%	2.139	1.652	-23%

Tabella 7-3 Valori delle concentrazioni di PM₁₀ (medie annue e massimi giornalieri) stimati per i due scenari in prossimità dei ricettori R per la protezione umana

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		
	Ante operam	Post Operam	Percentuale di riduzione tra Post e Ante operam
R1	0.869	0.667	-23%
R2	0.102	0.086	-16%
R3	0.134	0.101	-25%
R4	0.151	0.118	-22%
R5	0.392	0.305	-22%

Tabella 7-4 Valori delle concentrazioni di PM2.5 stimati per i due scenari in prossimità dei ricettori R per la protezione umana

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di C6H6 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		
	Ante operam	Post Operam	Percentuale di riduzione tra Post e Ante operam
R1	0.121	0.014	-88%
R2	0.014	0.002	-86%
R3	0.018	0.002	-89%
R4	0.021	0.003	-86%
R5	0.058	0.006	-90%

Tabella 7-5 Valori delle concentrazioni di Benzene stimati per i due scenari in prossimità dei ricettori R per la protezione umana

Come evidente dalle tabelle sopra riportate, i valori di concentrazione risultanti per il post operam sono inferiori rispetto all'ante operam in prossimità di tutti i ricettori.

Tale miglioramento è dovuto essenzialmente ad un parco veicolare meno inquinante che provoca un abbassamento dell'inquinamento prodotto dal traffico veicolare sulla rete stradale di riferimento e ad una redistribuzione del traffico sugli archi della rete stradale di riferimento.

7.3 CONCLUSIONI DELL'ANALISI

Dalle valutazioni fin qui condotte sui risultati delle simulazioni relative agli scenari ante e post operam, è possibile effettuare le seguenti considerazioni conclusive in merito agli effetti del progetto sulla componente atmosfera:

- il progetto in termini emissivi garantisce la riduzione delle emissioni totali prodotte sulla rete stradale considerata nell'analisi;
- dall'analisi delle concentrazioni di NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} è emersa una riduzione dei livelli di concentrazione degli inquinanti (in media di circa il 20%), mentre per il benzene si è registrata una significativa riduzione degli inquinanti (in media dell'85%), in prossimità dei ricettori scelti, tra lo stato attuale e lo scenario di progetto;
- dall'analisi dei livelli di concentrazione di NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} e Benzene stimati sui ricettori per la salute umana allo scenario di progetto, non sono emerse criticità e i limiti normativi risultano rispettati anche sommando il contributo del fondo registrato dalle centraline ARPA di riferimento.

8 L'ANALISI MODELLISTICA DELLA FASE DI CANTIERE

8.1 PREMessa

In questo capitolo vengono analizzate le possibili interferenze ambientali in fase di cantierizzazione tra l'esecuzione dei lavori in oggetto e l'ambiente in cui vengono svolti.

La finalità della presente analisi è quella di stimare non solo la quantità di inquinante prodotta, ma come questa si disperde, ovvero si diluisce in termini di concentrazione, o come si concentra nell'atmosfera, soprattutto in prossimità dei ricettori residenziali e sensibili presenti all'interno del territorio stesso.

Al fine di poter stimare tale aspetto si è fatto riferimento a modelli matematico-previsionali ed in particolare al codice di calcolo Aermod.

Attraverso l'uso di tale software di simulazione, è possibile stimare i livelli previsionali di inquinamento e confrontarli con gli attuali limiti normativi. Questo permette di valutare, oltre al rispetto dei valori soglia per la salute umana, le eventuali misure di mitigazione, necessarie all'abbattimento degli inquinanti in prossimità dei ricettori prossimi alle aree di cantiere.

8.2 GLI INPUT DEL SOFTWARE AERMOD VIEW

Input territoriali

Input meteorologici

Il primo input di calcolo per la stima delle concentrazioni degli inquinanti, e di conseguenza per il funzionamento del modello matematico, è il dato meteorologico. Per ricreare lo scenario diffusivo caratteristico del sito simulato, quindi, è stato necessario costruire adeguati file meteorologici in formati compatibili con il preprocessore meteorologico utilizzato da Aermod, denominato AER-MET.

Come già visto in precedenza per gli scenari ante e post operam, i file meteorologici necessari sono due: uno descrittivo delle condizioni meteoroclimatiche registrate al suolo nel sito di studio, l'altro descrittivo dell'andamento verticale dei principali parametri meteorologici.

Nel caso specifico sono stati utilizzati i dati registrati nel 2020 dalla stazione meteorologica di Firenze Peretola per la costruzione del primo file suddetto (realizzato in formato "SCRAM", cfr. Par. 5.2), mentre i dati profilometrici sono stati calcolati attraverso l'applicazione del "Upper Air Estimator" sviluppato dalla Lakes Environmental e citato quale metodo applicabile dalla stessa FAA.

I file così costruiti sono poi trattati mediante il preprocessore meteorologico AERMET, che analizza i dati e li riordina in modo da poter essere utilizzati dal software di simulazione.

Input orografici

Il secondo gruppo di parametri territoriali da definire è legato all'orografia del territorio in cui l'opera si innesta. Il software Aermod View, grazie al processore territoriale AERMAP permette di configurare essenzialmente tre tipologie di territorio così come mostrato in Figura 8-1.

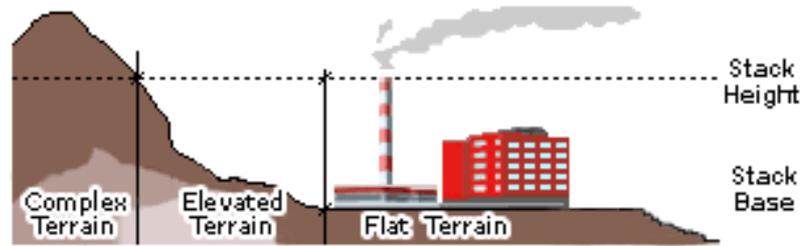


Figura 8-1 Tipologie di configurazioni territoriali

Con riferimento all'area in esame attraversata dall'infrastruttura in progetto, si è adottata una conformazione del territorio di tipo "flat" (piatta) in quanto non sono presenti condizioni orografiche complesse nell'immediato intorno delle aree di lavoro per la realizzazione della stessa.

Input progettuali

La metodologia del Worst Case Scenario

La metodologia che è stata seguita per la definizione degli input di progetto e quindi delle sorgenti emissive presenti durante la fase di cantiere dell'opera in esame è quella del "Worst Case Scenario". Tale metodologia, ormai consolidata ed ampiamente utilizzata in molti campi dell'ingegneria civile ed ambientale, consiste, una volta definite le variabili che determinano gli scenari, nel simulare la situazione peggiore possibile tra una gamma di situazioni "probabili". Pertanto, il primo passo sta nel definire le variabili che influenzano lo scenario, che nel caso in esame sono le variabili che influenzano il modello di simulazione.

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

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

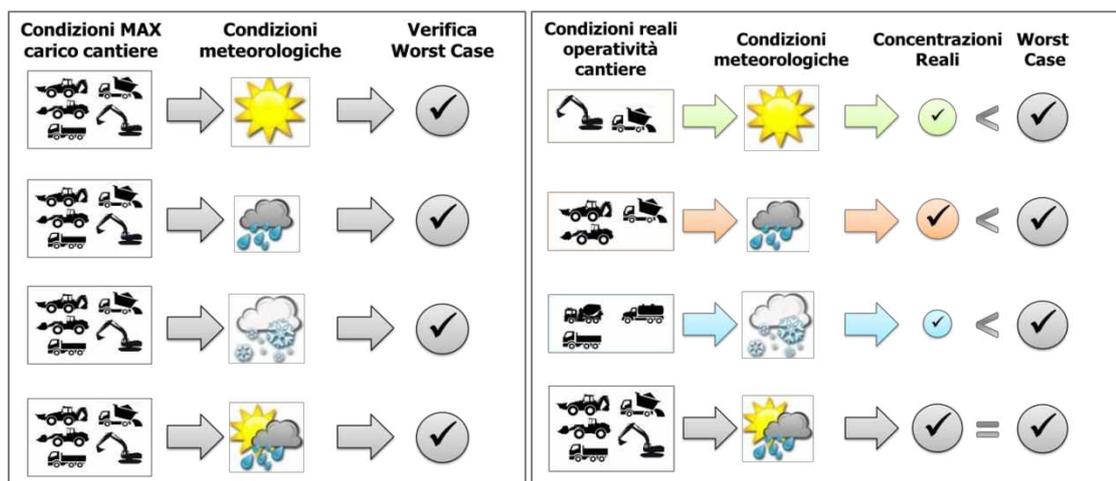


Figura 8-2 Logica delle verifiche con il worst case scenario

Volendo esplicitare la logica della Figura 8-2, dal punto di vista metodologico, occorre simulare lo scenario più critico dal punto di vista atmosferico. Tale ipotesi risulta molto conservativa, permettendo di avere elevati margini di sicurezza rispetto anche ai possibili scarti temporali e variazioni meteorologiche che negli scenari futuri sono difficilmente valutabili.

Oltre all'aspetto relativo alla singola attività all'interno del cantiere occorre valutare anche la contemporaneità delle diverse attività.

In ultimo, al fine di realizzare gli scenari di analisi occorre definire la tipologia di inquinante considerato. Tale aspetto influenza l'arco temporale di riferimento (ovvero l'intervallo di mediazione di riferimento) con il quale effettuare le verifiche normative e, al tempo stesso, l'operatività del cantiere che deve essere considerata all'interno della metodologia *Worst Case* implementata. Come meglio verrà esplicitato in seguito, gli inquinanti da tenere in considerazione sono funzione delle attività effettuate all'interno del cantiere.

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

La definizione delle sorgenti emissive

Nel caso in esame, le attività più critiche per il fattore atmosfera sono rappresentate principalmente dalla movimentazione di materiale polverulento. La configurazione peggiore in termini di inquinamento atmosferico è caratterizzata dalle seguenti attività:

- Movimentazione del materiale ed erosione del vento sui cumuli presenti all'interno del Campo Base CB;
- Movimentazione del materiale ed erosione del vento sui cumuli presenti all'interno del Cantiere Operativo CO;
- Movimentazione del materiale per la realizzazione del rilevato (Area di Lavoro AL01).

In funzione della localizzazione delle sorgenti e della contemporaneità delle lavorazioni maggiormente interferenti con la componente atmosferica, nonché della presenza degli elementi sensibili presenti al contorno dell'area, è stato individuato un unico scenario di simulazione. All'interno di tale scenario, le attività sopra citate sono state considerate contemporanee tra loro in termini temporali, e spaziali al fine di simulare la configurazione di cantiere peggiore.

Si precisa che, ai fini della presente analisi, si è ritenuto trascurabile il contributo emissivo dei traffici di cantiere vista l'esiguità di questi (circa 6 veicoli/ora bidirezionali, considerando una capacità dell'autocarro di 16 mc e un turno lavorativo di 8 ore/giorno) rispetto al traffico totale circolante sull'autostrada A1. Per tali ragioni all'interno delle simulazioni modellistiche il traffico indotto dal cantiere non è stato considerato come sorgente emissiva.

Qui di seguito, si riportano le caratteristiche delle aree di cantiere nello scenario oggetto di simulazione modellistica:

Sorgenti areali				Fonte emissiva	Inquinante considerato
ID	Descrizione	Superficie	Produttività		
CB	Area di stoccaggio e deposito temporaneo all'interno del campo base	3600 mq	300 mc/giorno	Erosione del vento sui cumuli	PM10, PM2.5
				Carico e scarico del materiale	
CO	Cantiere operativo/Area di deposito temporaneo	1800 mq	300 mc/giorno	Erosione del vento sui cumuli	PM10, PM2.5

Sorgenti areali				Fonte emissiva	Inquinante considerato
ID	Descrizione	Superficie	Produttività		
				Carico e scarico del materiale	
AL01	Fronte avanzamento: realizzazione del rilevato	1000 mq	300 mc/giorno	Movimentazione del materiale	PM10, PM2.5

Tabella 8-1 Caratteristiche aree di cantiere

Si precisa che il fronte lavori AL01 rappresenta un'area tipologica corrispondente ad un giorno di lavoro; la sua superficie è stata desunta sulla base della produttività giornaliera (300 mc/giorno) e ipotizzando che in un giorno venga realizzato uno strato di rilevato pari a 30 cm.

Per la rappresentazione della totalità delle sorgenti implementate nel software è possibile far riferimento alla figura sottostante.



Figura 8-3 Rappresentazione sorgenti areali implementate in AERMOD

Per ognuna delle sorgenti emissive sopra esposte, verrà effettuata la stima dei fattori di emissione, che rappresentano uno degli input principali per l'applicazione del modello di simulazione.

I fattori di emissione

Per stimare i fattori di emissione relativi alle sorgenti areali indicate nel precedente paragrafo, si è fatto riferimento al Draft EPA dell'Agencia per la Protezione dell'Ambiente Statunitense (rif. <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>), il quale, nella sezione AP 42, Quinta Edizione, Volume I Capitolo 13 – "Miscellaneous Sources" Paragrafo 13.2 – "Introduction to Fugitive Dust Sources" presenta le seguenti potenziali fonti di emissione:

1. Scotico e sbancamento del materiale (Linee Guida ARPAT);
2. Aggregate Handling and Storage Piles: accumulo e movimentazione delle terre (EPA AP-

42 13.2.4);

3. Wind Erosion: erosione del vento sui cumuli (EPA AP-42 13.2.5).

Per la stima delle emissioni si è fatto ricorso ad un approccio basato su un indicatore che caratterizza l'attività della sorgente (A) e di un fattore di emissione specifico per il tipo di sorgente (E_i). Il fattore di emissione E_i dipende non solo dal tipo di sorgente considerata, ma anche dalle tecnologie adottate per il contenimento/controllo delle emissioni.

La relazione tra l'emissione e l'attività della sorgente è di tipo lineare:

$$Q(E)_i = A * E_i$$

dove:

- Q(E)_i: emissione dell'inquinante i (ton/anno);
- A: indicatore dell'attività (ad es. consumo di combustibile, volume terreno movimentato, veicolo-chilometri viaggiati);
- E_i: fattore di emissione dell'inquinante i (ad es. g/ton prodotta, kg/kg di solvente, g/abitante).

La stima è tanto più accurata quanto maggiore è il dettaglio dei singoli processi/attività.

Per seguire tale approccio di valutazione è necessario conoscere diversi parametri relativi a:

- sito in esame (umidità del terreno, regime dei venti);
- attività di cantiere (quantitativi di materiale da movimentare ed estensione delle aree di cantiere).

Mentre alcune di queste informazioni sono desumibili dalle indicazioni progettuali, per altre è stato necessario fare delle assunzioni il più attinenti possibili alla realtà.

Scotico e sbancamento del materiale superficiale (Linee Guida ARPAT)

L'attività di scotico (rimozione degli strati superficiali del terreno) e sbancamento del materiale superficiale viene effettuata di norma con ruspa o escavatore. Nella fattispecie, per calcolare il fattore di emissione relativo a tale attività, è stata utilizzata la seguente equazione:

$$E = \frac{(0.3375 \cdot (s)^{1.5})}{(M)^{1.4}} [kg/h]$$

Dove:

- s= materiale limoso (%)
- M= umidità del terreno (%)

Aggregate Handling and Storage Piles – Cumuli di terra, carico e scarico (EPA AP-42 13.2.4)

La produzione totale di polvere legata all'attività di movimentazione dei materiali è relativa all'attività di carico e scarico dei mezzi.

La quantità di polveri generate da tale attività viene stimata utilizzando la seguente formula empirica:

$$E = k(0.0016) \cdot \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} [kg/t]$$

dove:

- E = fattore di emissione di particolato (kg/t);
- k = parametro dimensionale (dipende dalla dimensione del particolato);
- U = velocità media del vento (m/s);
- M = umidità del terreno (%).

Il parametro k varia a seconda della dimensione del particolato come riportato nella tabella sottostante:

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)				
<30 µm	<15 µm	<10 µm	<5 µm	<2.5 µm
0,74	0,48	0,35	0,20	0,053

Tabella 8-2 Valori coefficiente aerodinamico fonte: EPA AP42

Mentre per il range di validità degli altri parametri è possibile fare riferimento alla Tabella 8-3.

Ranges Of Source Conditions			
Silt Content (%)	Moisture Content (%)	Wind speed	
		m/s	mph
0,44 – 19	0,25 – 4,8	0,6 – 6,7	1,3 – 15

Tabella 8-3 Range di validità dei coefficienti per il calcolo di EF fonte: EPA AP42

Con riferimento ai valori dei coefficienti assunti per l'analisi si è considerato:

- U = velocità media del vento considerando la configurazione più frequente pari a 2,28 m/s (valore desunto dall'analisi meteorologica),
- M = percentuale di umidità considerata pari a 4,8%;
- k = pari a 0,35 per considerare l'apporto del PM10;
- k = pari a 0,053 per considerare l'apporto del PM2.5.

Wind Erosion: erosione del vento sui cumuli (EPA AP-42 13.2.5)

Le emissioni causate dall'erosione del vento sono dovute all'occorrenza di venti intensi su cumuli soggetti a movimentazione. Nell'AP-42 (paragrafo 13.2.5 "Industrial Wind Erosion") queste emissioni sono trattate tramite la potenzialità di emissione del singolo cumulo in corrispondenza di certe condizioni di vento.

In considerazione dell'attività di erosione del vento sui cumuli, il modello fa dipendere il fattore di emissione da due fattori che concorrono alla possibile emissione di particolato da parte del cumulo:

- il numero di "movimentazioni" ovvero di interferenze intese come deposito e scavo di materiale sul/dal cumulo;

- la velocità del vento a cui è sottoposto il cumulo stesso.
- La formula per il calcolo del fattore di emissione è data pertanto:

$$EF = k \sum_{i=1}^N P_i$$

dove k è la costante che tiene conto della grandezza della particella considerata, N è il numero di "movimentazioni" a cui è sottoposto il cumulo e Pi è pari all'erosione potenziale corrispondente alla velocità massima. Il valore di k è anche in questo caso tabellato.

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)			
30 µm	<15 µm	<10 µm	<2.5 µm
1,0	0,6	0,5	0,075

Tabella 8-4 Valori coefficiente aerodinamico fonte: EPA AP42

Il fattore N dipende dal numero di movimentazioni a cui è sottoposto un cumulo ogni anno. Nel caso in esame si è supposto, in via cautelativa, che tutti i cumuli fossero sottoposti ad almeno una movimentazione giornaliera, in considerazione delle diverse tempistiche con cui possono essere approvvigionati i diversi cumuli. In ultimo, l'erosione potenziale parte dal concetto di profilo di velocità del vento, per il quale è possibile utilizzare la seguente equazione:

$$u(z) = \frac{u^*}{0,4} \ln \frac{z}{z_0}$$

in cui u è la velocità del vento e u* rappresenta la velocità di attrito.

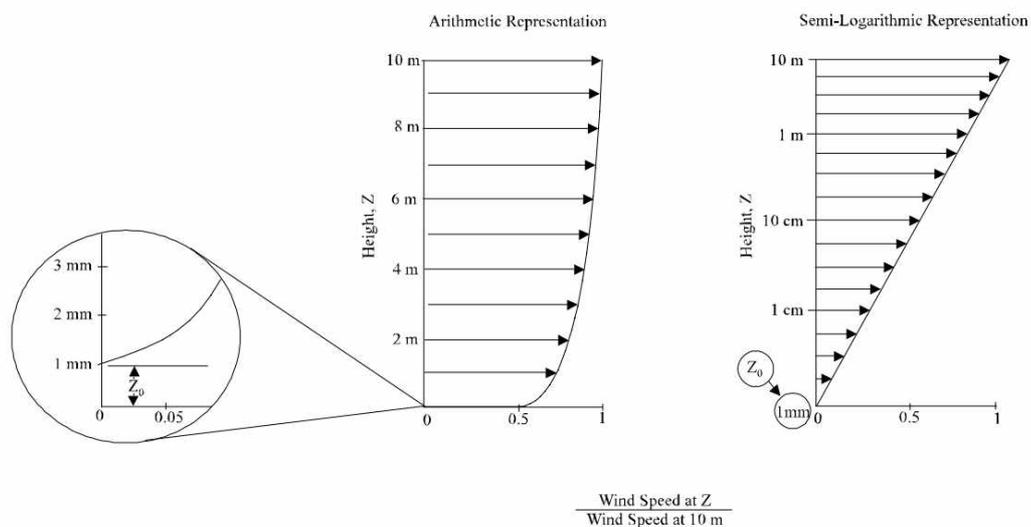


Figura 8-4 Illustrazione del profilo logaritmico della velocità fonte: EPA AP42

L'erosione potenziale pertanto dipende dalla velocità di attrito e dal valore soglia della velocità d'attrito secondo l'equazione:

$$P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*)$$

Da tale espressione si evince come ci sia erosione potenziale solo qualora la velocità d'attrito superi il valore soglia. Per la determinazione di tale valore il modello individua una procedura sperimentale (cfr. *1952 laboratory procedure published by W. S. Chepil*). Tuttavia, in mancanza di tali sperimentazioni è possibile fare riferimento ad alcuni risultati già effettuati e riportati in tabella.

Material	Threshold Friction Velocity (m/s)	Roughness Height (cm)	Threshold Wind Velocity At 10 m (m/s)	
			Z0=act	Z0=0,5cm
Overburden	1,02	0,3	21	19
Scoria (roadbed material)	1,33	0,3	27	25
Ground coal (surrounding coal pile)	0,55	0,01	16	10
Uncrusted coal pile	1,12	0,3	23	21
Scraper tracks on coal pile	0,62	0,06	15	12
Fine coal dust on concrete pad	0,54	0,2	11	10

Tabella 8-5 Valore di velocità di attrito limite

La velocità del vento massima tra due movimentazioni può essere determinata dai dati meteorologici utilizzati per le simulazioni. Tali dati, essendo riferiti ad un'altezza dell'anemometro pari a 10 metri, non hanno bisogno di alcuna correzione e pertanto è possibile determinare la relazione.

$$u^* = 0,053u_{10}^+$$

in cui u_{10}^+ è la massima intensità misurata nell'arco della giornata attraverso i dati sopracitati.

È importante, inoltre, evidenziare come tale formulazione sia valida per cumuli "bassi", ovvero cumuli per cui il rapporto base su altezza sia inferiore a 0,2. Nel caso in esame, in relazione all'operatività del cantiere si è ipotizzata la realizzazione di tale tipologia di cumuli. Non si necessita pertanto di ulteriori correzioni ed è quindi possibile determinare i casi in cui il valore di u^* supera il valore di u_t^* . A tale proposito si è scelto di fare riferimento alla classe "roadbed material".

Nel calcolo di u_{10}^+ è stata considerata anche la presenza di eventuali raffiche. Ordinando i valori in senso decrescente in funzione dei diversi giorni dell'anno è possibile determinare il grafico di Figura 8-5.

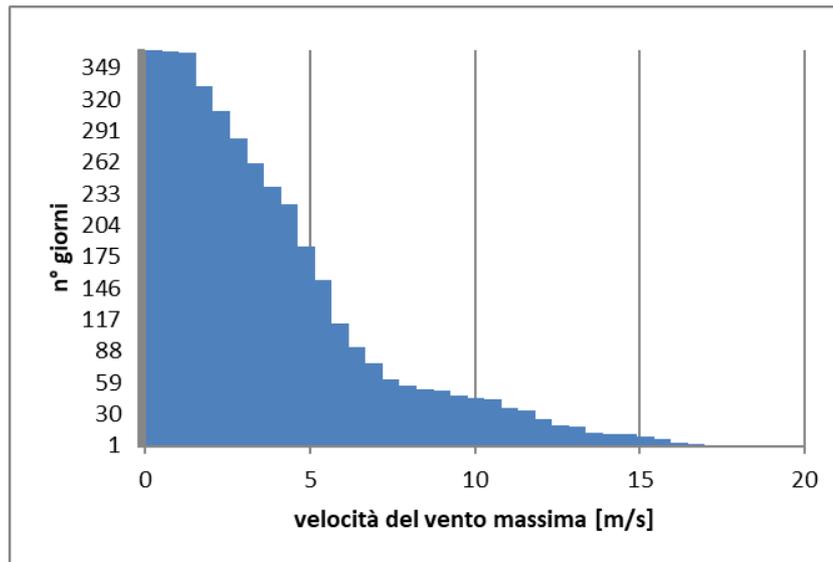


Figura 8-5 Velocità del vento max ordinata in senso crescente

Da tali valori è quindi stato possibile determinare i valori di u^* così come riportato in Figura 8-6.

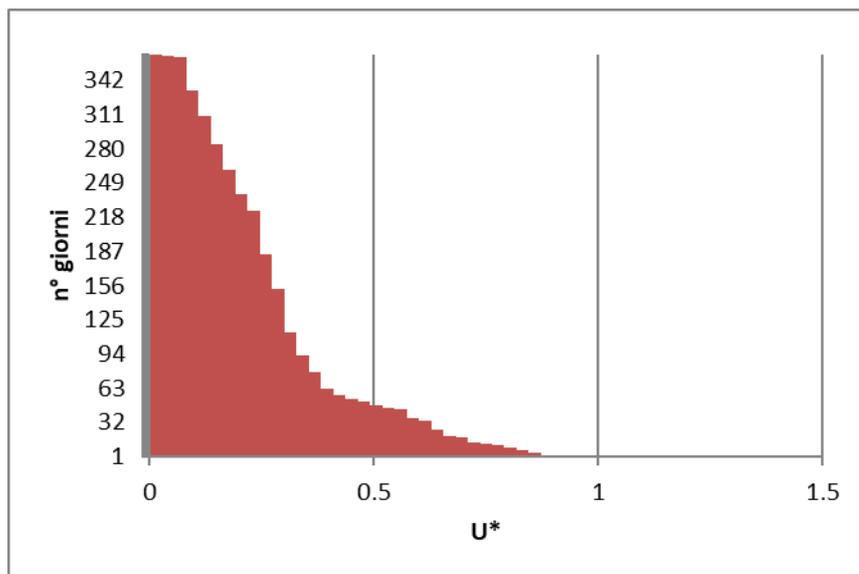


Figura 8-6 - Valori di u^* ordinati in senso crescente

Nel caso in esame il valore di P è nullo poiché non si verifica alcun superamento del valore u^*_t e pertanto il fattore di emissione dovuto all'erosione sui cumuli risulta trascurabile.

Sintesi fattori di emissione

Si riporta qui di seguito una sintesi dei fattori di emissioni implementati all'interno del software Aermod.

ID AREE	Fattore di emissione areale	
	PM10 [g/s]	PM2.5 [g/s]
CB	0.0422	0.001
CO	0.0422	0.001

ID AREE	Fattore di emissione areale	
	PM10 [g/s]	PM2.5 [g/s]
AL01	0.0422	0.001

Tabella 8-6 Fattori di emissione areali PM10 e PM2.5

La modellazione delle sorgenti in Aermod View

Una volta definite le metodologie per la stima dei fattori di emissione, è stato possibile implementare all'interno del modello le diverse sorgenti.

In particolare, le aree di lavoro e le aree di cantiere sono state schematizzate come sorgenti areali e in linea generale i dati richiesti dal software sono quelli mostrati in Figura 8-7.

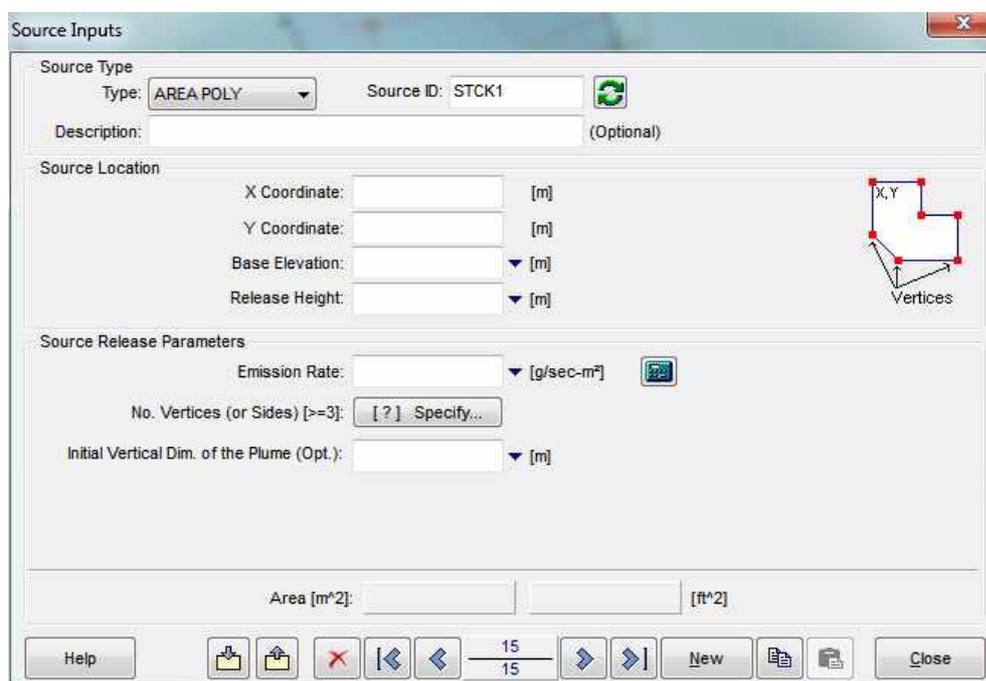


Figura 8-7 Tipologico input per sorgenti areali software AERMOD View

Nello specifico gli input inseriti sono:

- coordinate X, Y rispetto al baricentro della sorgente,
- altezza del terreno su cui è situata la sorgente,
- altezza della sorgente,
- fattore di emissione espresso in g/s m².

La definizione dei punti di calcolo

Ultimo step dell'analisi prima dell'effettuazione dei calcoli previsionali è la definizione di una maglia di punti di calcolo al fine di poter pervenire alla definizione di curve di isoconcentrazione.

A tale scopo occorre soddisfare la duplice necessità di avere una maglia di calcolo spazialmente idonea a poter descrivere una porzione di territorio sufficientemente ampia e, dall'altro, di fissarne un passo adeguato al fine di non incrementare inutilmente l'onerosità dei calcoli.

Seguendo tali principi è stata definita una maglia di punti di calcolo avente le seguenti caratteristiche.

Coordinate del centro della maglia Asse X	674222.35 [m E]
Coordinate del centro della maglia Asse Y	4848463.18 [m N]
Passo lungo l'asse X	150 [m]
Passo lungo l'asse Y	150 [m]
N° di punti lungo l'asse X	15
N° di punti lungo l'asse Y	15
N° di punti di calcolo totali	225
Altezza relativa dal suolo	1,8 [m]

Tabella 8-7 Caratteristiche maglia di calcolo

Inoltre, sono stati individuati dei punti ricettori discreti rappresentativi di bersagli residenziali/sensibili prossimi all'area di intervento per verificare, in corrispondenza di questi, il rispetto dei limiti normativi di qualità dell'aria per la protezione della salute umana.

I ricettori censiti sono riportati nella seguente tabella e figura.

Ricettori	Descrizione	X	Y
C1	Residenziale	674383.6	4848588
C2	Residenziale	674364.8	4848550
C3	Residenziale	674236.8	4848428
C4	Hotel Firenze Business	673997.8	4848758
C5	Casa Circondariale Maschile Mario Gozzini	674507.2	4848664

Tabella 8-8 Punti ricettori residenziali



Figura 8-8 Schematizzazione sorgenti e ricettori

8.3 I DATI DI OUTPUT

Per le mappe diffusionali emerse dalle simulazioni modellistiche si può far riferimento agli elaborati grafici:

- Tavola 11 – Corso d’opera: PM₁₀ massimo giornaliero;
- Tavola 12 – Corso d’opera: PM₁₀ media annua;
- Tavola 13 – Corso d’opera: PM_{2.5} media annua;

Di seguito si riportano le tabelle di sintesi degli output delle simulazioni in corrispondenza dei singoli ricettori:

Ricettori	Media annua delle concentrazioni di PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Max giornalieri delle concentrazioni di PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	N°superamenti giornalieri delle concentrazioni di PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Media annua delle concentrazioni di PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
C1	3.450	55.450	1	2.070
C2	2.220	29.560	-	1.332
C3	0.492	12.144	-	0.295
C4	0.821	10.995	-	0.493
C5	1.764	36.805	-	1.058

Tabella 8-9: Concentrazioni stimate in corrispondenza dei ricettori prossimi alle sorgenti

Al fine di confrontare i valori risultanti dalle simulazioni con le soglie normative è necessario considerare anche il valore di fondo del contesto territoriale dove il progetto si inserisce. A tale proposito si è fatto riferimento alla centralina ARPA di Firenze-Scandicci (fondo urbano) la quale ha registrato i seguenti valori riferiti all’anno 2019:

- particolato PM10: 20.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- particolato PM2.5: 12.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Di seguito si riporta la tabella di sintesi contenente i valori di concentrazione totale in corrispondenza dei singoli ricettori, comprensivi del contributo del fondo:

Ricettore	PM10			PM2.5
	Media annua [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Massimo giornaliero [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	N°superamenti giornalieri delle concentrazioni di PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Media annua [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
C1	23.930	75.930	6	14.360
C2	22.700	50.040	1	13.622
C3	20.972	32.624	-	12.585
C4	21.301	31.475	-	12.783
C5	22.244	57.285	1	13.348

Ricettore	PM10			PM2.5
	Media annua [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Massimo giornaliero [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	N°supera- menti giorna- lieri delle concentra- zioni di PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Media annua [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Limite per la protezione della salute umana (D. Lgs. 155/2010)	40	50	35	25

Tabella 8-10: Qualità dell'aria totale in corrispondenza dei ricettori prossimi alle sorgenti

Come evidente dalla tabella soprariportata, i valori di concentrazione media annua del PM10 e PM2,5, comprensivi del fondo, non superano il limite normativo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; per quando concerne i massimi giornalieri, le stime diffusive hanno riportato, per i ricettori C1, C2 e C5 concentrazioni giornaliere superiori al limite normativo di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; nonostante ciò, il numero di superamenti stimato per ciascun ricettore è ampiamente inferiore al numero massimo di superamenti consentiti, pari a 35.

Tali valori sono inoltre da considerarsi sovrastimati, in quanto le considerazioni modellistiche fatte per la fase di cantiere non hanno in alcun modo considerato le possibili azioni di cantiere (*best practice*) volte a ridurre e contenere la dispersione del materiale particolato durante le lavorazioni, a cui si rimanda al Paragrafo successivo.

In virtù di quanto appena esposto, si può concludere che gli impatti delle attività di cantiere sul fattore ambientale atmosfera risultano di modesta entità.

8.4 BEST PRACTICE PER IL CANTIERE

Nonostante le basse concentrazioni di PM₁₀ e PM_{2,5} rilevate dai risultati della simulazione di cantiere, si prevedono comunque, durante lo svolgimento delle attività alcune *best practice* finalizzate ad abbattere ulteriormente la dispersione di polveri nell'atmosfera. Tra queste si evidenzia:

- bagnatura delle terre scavate e del materiale polverulento durante l'esecuzione delle lavorazioni: l'applicazione di specifici nebulizzatori e/o la bagnatura (anche tramite autobotti) permetterà di abbattere l'aerodispersione delle terre conseguente alla loro movimentazione. Tale misura sarà da applicare prevalentemente nei mesi aridi e nelle stagioni in cui si hanno le condizioni di maggior vento;
- copertura e/o bagnatura di cumuli di materiale terroso stoccati: nel caso fosse necessario stoccare temporaneamente le terre scavate in prossimità dell'area di cantiere si procederà alla bagnatura dei cumuli o in alternativa alla copertura degli stessi per mezzo di apposite telonature mobili in grado di proteggere il cumulo dall'effetto erosivo del vento e limitarne la conseguente dispersione di polveri in atmosfera;
- copertura degli autocarri durante il trasporto del materiale: l'applicazione di appositi teloni di copertura degli automezzi durante l'allontanamento e/o l'approvvigionamento di materiale polverulento permetterà il contenimento della dispersione di polveri in atmosfera;
- limitazione della velocità di scarico del materiale: al fine di evitare lo spargimento di polveri, nella fase di scarico del materiale, quest'ultimo verrà depositato gradualmente modulando l'altezza del cassone e mantenendo la più bassa altezza di caduta.