

S.G.C. E78 GROSSETO – FANO

Tratto Siena Bettolle (A1)

Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI-81

R.T.I. di PROGETTAZIONE: Mandataria Mandante



PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Alberto Rinaldi – Erre.via. srl
Ordine Ing. di Milano n. 16951

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzanica – Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Enrico Moretti – Erre.via. srl
Ordine Ing. di Milano n. 16237

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. Raffaele Franco Carso



PROTOCOLLO

DATA

07 - Sezione Ambientale

07.04 - Studio di Impatto Ambientale

Scenario di base e analisi della compatibilità

Atmosfera - Relazione

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00IA45AMBRE01B.pdf		
DPFI0081	D	20	CODICE ELAB. T00IA45AMBRE01	B	-
D					
C					
B	Revisione per istruttoria ANAS		MAGGIO 2021	GAMBARANA	SECHI RINALDI
A	Emissione		OTTOBRE 2020	GAMBARANA	SECHI RINALDI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

INDICE

1	PREMESSE.....	5
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO E PIANIFICATORIO	6
3	ANALISI METEO-CLIMATICA	11
3.1	Regime pluviometrico	13
3.2	Regime termico.....	16
3.3	Regime anemometrico	20
4	IL QUADRO DELLE EMISSIONI.....	23
4.1	Modellazione delle emissioni	34
4.1.1	<i>Emissioni da traffico stradale</i>	34
4.1.2	<i>Dati caratteristici del traffico nelle simulazioni</i>	37
4.1.3	<i>Il parco veicolare</i>	42
4.1.4	<i>Risultati della stima delle emissioni</i>	46
5	IL QUADRO DELLE CONCENTRAZIONI.....	49
5.1	Rete di monitoraggio regionale della qualità dell'aria	49
5.1.1	<i>Il Biossido di Azoto (NO2)</i>	51
5.1.2	<i>Il Monossido di Carbonio (CO)</i>	53
5.1.3	<i>Il particolato atmosferico aerodisperso (PM10 e PM2.5)</i>	54
5.1.4	<i>Il Benzene (C6H6)</i>	57
5.2	La modellazione della dispersione degli inquinanti atmosferici	59
5.2.1	<i>Il modello ARIA Impact</i>	59
5.2.2	<i>Descrizione delle simulazioni</i>	61
5.2.3	<i>Risultati delle simulazioni</i>	62
6	FASE DI CANTIERE	72
6.1	Stima mezzi di cantiere	72
6.2	Stima delle emissioni	73
6.2.1	<i>Dati di input</i>	73
6.2.2	<i>Risultati della stima delle emissioni</i>	76
6.3	Modellazione della dispersione degli inquinanti.....	78
6.4	Risultati delle simulazioni per lo scenario in CO	79
6.5	Mitigazioni fase di cantiere.....	83
7	CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	86
7.1	Generalità	86
7.1.1	<i>Analisi delle tendenze a livello globale</i>	87
7.1.2	<i>Analisi delle tendenze climatiche nazionali</i>	97
7.2	Impatti.....	113
	BIBLIOGRAFIA E FONTI CONSULTATE.....	118
	SITOGRAFIA.....	119
	INDICE FIGURE	
	Figura 1 - Zonizzazione e rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria.....	10
	Figura 2 - Localizzazione stazione di riferimento di Monteroni d'Arbia Biena (in rosso) rispetto all'ambito di intervento	12

Figura 3 - Precipitazioni (quantità e giorni di pioggia) rilevate nel 2019 dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI).....	14
Figura 4 - Confronto precipitazioni cumulate 2019 vs periodi climatici 1971-2000 e 1981-2010.....	14
Figura 5 - Confronto tra le precipitazioni di novembre 2019 e quelle medie di novembre del periodo 1989-2018, a scala regionale (%).....	15
Figura 6 - Temperature medie mensili elaborate per il 2019 (media, minima e massima), dati rilevati dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI).....	18
Figura 7 - Confronto temperature annue, massime e minime 2019 vs periodi climatici 1971-2000 e 1981-2010.....	19
Figura 8 - Confronto velocità media del vento 2019 vs media ultimi 5 anni (2015-2019) - Monteroni d'Arbia Biena (SI).....	20
Figura 9 - Confronto media della velocità massima del vento 2019 vs media ultimi 5 anni (2015-2019) - Monteroni d'Arbia Biena (SI).....	21
Figura 10 - Distribuzione delle direzioni del vento.....	21
Figura 11 - Distribuzione delle classi di velocità del vento.....	21
Figura 12 - Rosa dei venti (direzioni su base annua).....	22
Figura 13 - Andamento emissioni PM10, PM2.5 ed SOX; anni 1995-2000-2005-2010.....	24
Figura 14 - Andamento emissioni CO, COVNM ed NOX; anni 1995-2000-2005-2010.....	25
Figura 15 - Variazione % emissioni al 2010, 2005 e 2000 rispetto al 1995.....	25
Figura 16 - Emissioni CO [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010.....	26
Figura 17 - Emissioni COVNM [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010.....	26
Figura 18 - Emissioni NOX [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010.....	27
Figura 19 - Emissioni PM10 [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010.....	27
Figura 20 - Emissioni PM2.5 [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010.....	28
Figura 21 - Emissioni SOX [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010.....	28
Figura 22 - Andamento emissioni PM10 e PM2.5 nel periodo 1995-2010 a scala regionale, articolate per sorgente emissiva.....	29
Figura 23 - Andamento emissioni PM10 e PM2.5 nel periodo 1990-2018 a scala nazionale, articolate per sorgente emissiva.....	30
Figura 24 - Andamento emissioni gas serra [tonn/anno], anni 1995-2000-2005-2010.....	31
Figura 25 - Andamento emissioni CO2eq [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010.....	32
Figura 26 - Contributi percentuali delle sorgenti emissive per ciascun inquinante emesso nel comparto territoriale in esame (fonti raggruppate in "02 Impianti di combustione non industriali", "07 Trasporti stradali" ed "altro").....	33
Figura 27 - Classificazione dei veicoli secondo la metodologia COPERT (1/2).....	35
Figura 28 - Classificazione dei veicoli secondo la metodologia COPERT (2/2).....	36
Figura 29 - Assi viari e flussi di traffico Stato di fatto.....	39
Figura 30 - Assi viari e flussi di traffico Alternativa 0.....	40
Figura 31 - Assi viari e flussi di traffico Stato di progetto.....	41
Figura 32 - Rete utilizzata nella modellazione per il calcolo delle emissioni da traffico.....	46
Figura 33 - Rete regionale delle stazioni di misura degli inquinanti.....	49
Figura 34 - Localizzazione stazione "SI-BRACCI".....	50
Figura 35 - Localizzazione stazione "SI-POGGIBONSI".....	50
Figura 36 - Dinamica delle concentrazioni di NO2 misurate nella stazione di SI-Bracchi.....	52
Figura 37 - Dinamica delle concentrazioni di NO2 misurate nella stazione di SI-Poggibonsi.....	53
Figura 38 - Dinamica delle concentrazioni di CO misurate nella stazione di SI-Bracchi.....	54
Figura 39 - Dinamica delle concentrazioni di PM10 misurate nella stazione di SI-Bracchi.....	55
Figura 40 - Dinamica delle concentrazioni di PM10 misurate nella stazione di SI-Poggibonsi.....	56
Figura 41 - Dinamica delle concentrazioni di PM2,5 misurate nella stazione di SI-Poggibonsi.....	57
Figura 42 - Benzene - trend medie annuali registrate a scala regionale dal 2015 al 2019.....	58
Figura 43 - Parametri di dispersione orizzontale e verticale modello ARIA Impact.....	61
Figura 44 - Aree climatiche previste dall'IPCC.....	90
Figura 45 - Andamenti annuali e stagionali delle stime modellistiche del AR5 IPCC.....	91
Figura 46 - Mappa delle variazioni della Tmedia rispetto al periodo di riferimento 1986-2005 (50° percentile) - scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 - periodo annuale (1/2).....	92
Figura 47 - Mappa delle variazioni della Tmedia rispetto al periodo di riferimento 1986-2005 (50° percentile) - scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 - periodo annuale (2/2).....	93

Figura 48 - Mappa delle variazioni delle precipitazioni medie annuali rispetto al 1986-2005 (50° percentile) - scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 – periodo annuale (1/2)	94
Figura 49 - Mappa delle variazioni delle precipitazioni medie annuali rispetto al 1986-2005 (50° percentile) - scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 – periodo annuale (2/2)	95
Figura 50 - Aumento della temperatura media annuale [°c] (ESPON 2013 Program).....	98
Figura 51 - Diminuzione del numero medio annuale di giorni di gelo (ESPON 2013 Program)	98
Figura 52 - Incremento del numero medio annuale di giorni estivi (ESPON 2013 Program)	98
Figura 53 - Cambiamento delle precipitazioni medie annuali in periodo invernale [%] (ESPON 2013 Program)	99
Figura 54 - Cambiamento delle precipitazioni medie annuali in periodo estivo [%] (ESPON 2013 Program)	99
Figura 55 - Cambiamento del numero di giorni con forti piogge (ESPON 2013 Program)	99
Figura 56 - Cambiamento dell'evaporazione media annuale [%] (ESPON 2013 Program).....	100
Figura 57 - Diminuzione del numero di giorni all'anno con copertura nevosa (ESPON 2013 Program)	100
Figura 58 - Anomalia media 2019 (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1961-1990 – Nord, Centro, Sud e Isole.....	101
Figura 59 - Serie delle anomalie medie annuali in Italia rispetto al valore normale 1961-1990 (numero di giorni con gelo, numero di notti tropicali, numero di giorni estivi, numero di notti calde)	102
Figura 60 - Anomalia media mensile ed annuale 2019, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata Nord, Centro, Sud e Isole, rispetto al valore normale 1961-1990.	103
Figura 61 - Serie delle anomalie medie nel Centro Italia, del numero di giorni nell'anno con precipitazione superiore od uguale a 10 mm (R10mm) e delle precipitazioni nei giorni molto piovosi (R95p), rispetto al valore normale 1971-2000.....	104
Figura 62 – Zonizzazione climatica nazionale di cui al PNACC.....	107
Figura 63 - Scenario RCP4.5: mappa dei cluster individuati e valori medi dei cluster individuati (COSMO RCP4.5 2021-2050 vs 1981-2010).....	108
Figura 64 - Scenario RCP8.5: mappa dei cluster individuati e valori medi dei cluster individuati (COSMO RCP8.5 2021-2050 vs 1981-2010).....	109
Figura 65 - Opportunità e minacce Macroregione 1 – Infografiche (1/2) (Allegato 4 PNACC)	116
Figura 66 - Opportunità e minacce Macroregione 1 – Infografiche (2/2) (Allegato 4 PNACC)	117

INDICE TABELLE

Tabella 1 - Valori limite ed obiettivo per la protezione della salute umana	7
Tabella 2 - Soglie di informazione ed allarme relative a SO2, NO2 ed ozono	8
Tabella 3 - Valori obiettivo e i livelli critici per la protezione della vegetazione	8
Tabella 4 – Precipitazioni (quantità e giorni di pioggia) rilevate nel 2019 dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI).....	13
Tabella 5 - Temperature rilevate nel 2019 dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI)	17
Tabella 6 - Confronto temperature medie annue, massime e minime – rilevate a scala regionale - 2019 vs periodi climatici di riferimento WMO (1971-2000 e 1981-2010).....	19
Tabella 7 – Intensità del vento rilevate nel 2019 dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI).....	20
Tabella 8 - Quantità assolute delle sostanze inquinanti emesse nel comparto territoriale in esame comprensivo del Comune di Siena e dei comuni limitrofi (Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia e Sovicille), suddivise per sorgenti emissive.....	32
Tabella 9 – Incidenza emissioni da trasporto stradale rispetto a quelle complessive stimate per ciascun comune considerato [%] (per ciascun inquinante, in rosso sono evidenziati i due valori maggiori)	33
Tabella 10 - Sostanze inquinanti emesse espresse in tonn/kmq, suddivise per comune.....	33
Tabella 11 - Autovetture distinte per provincia alimentazione e fascia di cilindrata. Anno 2019	42
Tabella 12 - Veicoli industriali leggeri distinti per provincia alimentazione e fascia di cilindrata. Anno 2019 .	42
Tabella 13 - Veicoli industriali pesanti distinti per provincia alimentazione e tipologia. Anno 2019.....	42
Tabella 14 - Trattori stradali distinti per provincia alimentazione e tipologia. Anno 2019	43
Tabella 15 - Motocicli distinti per provincia e fascia di cilindrata. Anno 2019	43
Tabella 16 - Autobus distinti per provincia e uso. Anno 2019	43
Tabella 17 - Confronto emissioni da traffico scenario SDF con emissioni "Trasporto stradale" IRSE 2010...	46
Tabella 18 - Quantità assolute delle sostanze inquinanti in termini di emissioni da traffico stradale per i tre scenari considerati: SDF, Alt. 0 ed SDP (dati riferiti sia all'intero comparto territoriale in esame sia a ciascun comune ad esso afferente).....	47

Tabella 19 – Variazione percentuale delle sostanze inquinanti in termini di emissioni da traffico stradale tra gli scenari considerati: Alt. 0 vs SDF, SDP vs SDF ed SDP vs Alt. 0 (confronti effettuati sia per l'intero comparto territoriale in esame sia per ciascun comune ad esso afferente).....	48
Tabella 20 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione massimi e medi all'interno del dominio di calcolo).....	64
Tabella 21 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 1-3-4-7).....	65
Tabella 22 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 9-35-37-43).....	66
Tabella 23 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 56-59-62-68).....	67
Tabella 24 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 75-89-91-93).....	68
Tabella 25 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 94-101-102-113).....	69
Tabella 26 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 118-120-131-136).....	70
Tabella 27 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 139-146).....	71
Tabella 28 - Scenari RCP (Representative Concentration Pathways) individuati nell'Assessment Report n. 5 (AR5) dell'IPCC (2014).....	89
Tabella 29 - Sintesi esiti valutazioni modellistiche per la temperatura media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2016÷2035.....	96
Tabella 30 - sintesi esiti valutazioni modellistiche per la temperatura media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2046÷2065.....	96
Tabella 31 - sintesi esiti valutazioni modellistiche per la temperatura media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2081÷2100.....	96
Tabella 32 - Sintesi esiti valutazioni modellistiche per la precipitazione media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2016÷2035.....	96
Tabella 33 - Sintesi esiti valutazioni modellistiche per la precipitazione media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2056÷2065.....	96
Tabella 34 - Sintesi esiti valutazioni modellistiche per la precipitazione media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2081÷2100.....	97
Tabella 35 - Valori delle principali variabili climatiche previsti per l'area in esame (ESPON 2013 Program).....	97
Tabella 36 - Trend (e relativo errore standard) della temperatura in Italia dal 1981 al 2019, stimati con un modello di regressione lineare semplice. Tutti i trend sono statisticamente significativi.....	102
Tabella 37 - Trend (e relativo errore standard) delle precipitazioni cumulate dal 1961 al 2019 stimati con il modello di regressione lineare semplice. In tutti i casi non risultano tendenze statisticamente significative.....	103
Tabella 38 - Valori medi e deviazione standard degli indicatori per ciascuna macroregione individuata.....	106
Tabella 39 - Descrizione delle macroregioni climatiche omogenee, RCP4.5 (PNACC).....	110
Tabella 40 - Descrizione delle macroregioni climatiche omogenee, RCP8.5 (PNACC).....	111
Tabella 41 - Impatti sul sistema dei trasporti, associati ai cambiamenti climatici (Allegato 2 PNACC).....	115

1 PREMESSE

Il presente studio ha lo scopo di individuare il complesso delle eventuali criticità relative al fattore ambientale atmosfera a seguito della realizzazione del progetto in esame.

Si precisa che la relazione è conforme al documento *Specifiche tecniche per la predisposizione e la trasmissione della documentazione in formato digitale per le procedure di VAS e VIA ai sensi del d.lgs. 152/2006 e s.m.i.* ed in coerenza con le *Linee guida per la Valutazione di Impatto Ambientale SNPA 28/2020*.

Inizialmente si è proceduto ad inquadrare la tematica dal punto di vista normativo e pianificatorio ed a caratterizzare l'ambito indagato in termini meteo-climatici.

Si è successivamente provveduto ad effettuare una disamina dello stato di qualità dell'aria nel comparto territoriale di riferimento e delle fonti di emissione che agiscono sull'ambiente atmosferico, attraverso l'analisi sia dei dati misurati dalle centraline di rilevamento di ARPA Toscana sia di quelli relativi allo stato delle emissioni, disponibili nell'inventario regionale IRSE (Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissioni in atmosfera).

Per analizzare i possibili effetti sull'atmosfera, si è verificata la portata degli incrementi attesi sul traffico attuale indotti dalla realizzazione dell'opera; a tal fine sono stati utilizzati i dati di cui alle simulazioni trasportistiche effettuate nello studio di traffico redatto a supporto della presente progettazione definitiva (cfr. allegato T00EG00GENRE03). Le analisi sono state condotte per tre diversi scenari: lo stato di fatto, quello di progetto e l'alternativa "0" di non realizzazione dell'intervento; attraverso opportuni software di simulazione, sono state calcolate le emissioni e le concentrazioni rappresentative dei tre scenari di cui si è detto:

- attraverso il modello TREFIC sono stati simulati i tre scenari di riferimento al fine di effettuarne un confronto in termini di emissioni da traffico stradale (gli input del modello sono rappresentati dal grafo modellistico dello scenario di interesse e dai dati rappresentativi del parco circolante nell'anno 2019 in Provincia di Siena);
- attraverso il modello ARIA IMPACT sono stati simulati i tre scenari di riferimento al fine di effettuarne un confronto in termini di concentrazioni (gli input del modello sono rappresentati dalle emissioni calcolate con TREFIC e dai principali dati meteorologici che, misurati nel 2019, connotano dal punto di vista meteorologico l'ambito territoriale di interesse).

Gli impatti sulla componente determinati dalla fase di realizzazione dell'opera sono valutati nel capitolo 6.

In ultima analisi, nel capitolo 7 si fornisce un quadro complessivo delle principali tendenze climatiche che connotano l'area su cui insiste il progetto, con l'obiettivo di delineare i possibili scenari rispetto ai quali l'intervento dovrà misurarsi.

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO E PIANIFICATORIO

In via generale, la normativa di riferimento per la tutela della qualità dell'aria affronta la tematica secondo due aspetti fondamentali: da una parte agisce mediante il controllo delle emissioni dalle fonti inquinanti, dall'altra individua gli obiettivi di qualità dell'aria e valuta questa, predisponendone il monitoraggio e fissando standard di qualità, con metodi e criteri comuni, con lo scopo di proteggere la salute umana e l'ambiente nel suo complesso.

Per quanto riguarda più specificatamente gli aspetti emissivi, il testo normativo cui fare riferimento è il c.d. "Codice dell'ambiente", il d.lgs. n. 152 del 03 aprile 2006 e ss.mm.ii.¹, in particolare la Parte V, *Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera*; i principali dispositivi normativi che nel corso degli anni sono intervenuti a modificarne ed integrarne i contenuti sono i seguenti:

- Decreto legislativo 15 novembre 2017, n. 183 "Attuazione della direttiva (UE) 2015/2193 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 novembre 2015, relativa alla limitazione delle emissioni nell'atmosfera di taluni inquinanti originati da impianti di combustione medi, nonché per il riordino del quadro normativo degli stabilimenti che producono emissioni nell'atmosfera, ai sensi dell'articolo 17 della legge 12 agosto 2016, n. 170" (GU Serie Generale n. 293 del 16.12.2017);
- Legge 20 novembre 2017, n. 167 "Disposizioni per l'adempimento degli obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia all'Unione europea - Legge europea 2017" (GU Serie Generale n. 277 del 27.11.2017);
- Decreto Legislativo 29 giugno 2010, n.128 "Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, a norma dell'articolo 12 della legge 18 giugno 2009, n. 69" (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 186 dell'11 agosto 2010 - Suppl. Ordinario n. 184);
- Legge 4 marzo 2014, n. 46 "Attuazione della direttiva 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento)" (GU 27 marzo 2014, n. 72).

La legislazione italiana in materia di inquinamento atmosferico è costruita sulla base della Direttiva 96/62/CE² che, recepita dal d.lgs. 351/1999³, stabilisce che le Regioni sono l'autorità competente in questo campo, e prevede la suddivisione del territorio in zone ed agglomerati su cui valutare il rispetto dei valori obiettivo e dei valori limite.

Il 30.09.2010 è entrato in vigore il d.lgs. 13 agosto 2010, n. 155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" che ha abrogato il d.lgs. 152/2007⁴ ed il d.lgs. 351/1999 ed i rispettivi decreti attuativi (il DM 60/2002, il d.lgs. 183/2004 ed il DM 261/2002).

Nel recepire la direttiva europea 2008/50/CE viene ridefinito il quadro di riferimento normativo complessivo ed il d.lgs. 155/2010 diviene la norma quadro in materia di controllo dell'inquinamento atmosferico; successivamente sono stati emanati:

- il DM Ambiente 29 novembre 2012 che, in attuazione del 155/2010, individua le stazioni speciali di misurazione della qualità dell'aria;
- il d.lgs. n. 250/2012 che modifica ed integra il 155/2010 definendo anche il metodo di riferimento per la misurazione dei composti organici volatili;
- il DM Ambiente 22 febbraio 2013 che stabilisce il formato per la trasmissione del progetto di adeguamento della rete di monitoraggio;
- il DM Ambiente 13 marzo 2013 che individua le stazioni per le quali deve essere calcolato l'indice di esposizione media per il PM2.5;
- il DM 5 maggio 2015 definisce i metodi di valutazione delle stazioni di misurazione della qualità dell'aria di cui all'articolo 6 del d.lgs. 155/2010;
- il DM 26 gennaio 2017 modifica ulteriormente il d.lgs. 155/2010, recependo i contenuti della Direttiva 1480/2015 in materia di metodi di riferimento per la determinazione degli inquinanti, procedure per la

¹ Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" (GU n. 88 del 14 aprile 2006).

² Direttiva del Consiglio, del 27 settembre 1996, in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente.

³ Decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 351, "Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente" (GU n. 241 del 13 ottobre 1999).

⁴ Decreto legislativo 3 agosto 2007, n. 152 "Attuazione della direttiva 2004/107/CE concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente" (GU Serie Generale n. 213 del 13.09.2007 - Suppl. Ordinario n. 194).

garanzia di qualità per le reti e la comunicazione dei dati rilevati e in materia di scelta e documentazione dei siti di monitoraggio.

Il d.lgs. 155/2010 stabilisce per i vari inquinanti, valori limite e/o valori obiettivo, livelli critici, soglie di allarme e soglie di informazione. Per valore limite si intende il livello ovvero la concentrazione di un inquinante fissata al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, che non deve essere superato. Per valore obiettivo si intende il livello fissato al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita. Per livello critico si intende il livello ovvero la concentrazione di un inquinante oltre il quale possono sussistere effetti negativi diretti sui recettori quali gli alberi, le altre piante o gli ecosistemi ambientali esclusi gli esseri umani. La soglia di allarme e la soglia di informazione sono le concentrazioni dell'inquinante oltre le quali sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata rispettivamente per la popolazione nel suo complesso e per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione.

Il decreto stabilisce i valori limite per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo, biossido di azoto, benzene, monossido di carbonio, piombo, PM10 ed introduce per la prima volta un valore limite per il PM2.5, pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da raggiungere entro il 31.12.2015; per quest'ultimo inquinante fissa inoltre l'obiettivo di riduzione nazionale dell'esposizione: la media delle concentrazioni di PM2.5 misurate in aree urbane rappresentative dell'esposizione media della popolazione deve diminuire di una percentuale prefissata dal triennio 2008-2010 al triennio 2018-2020 anche laddove si avessero valori inferiori al valore limite. Il decreto fissa inoltre i valori obiettivo, gli obiettivi a lungo termine, le soglie di allarme e di informazione per l'ozono, e i valori obiettivo per le concentrazioni nell'aria ambiente di arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene. Rispetto alla tempistica entro cui i valori limite devono essere raggiunti, conformemente a quanto previsto dalla norma europea, è introdotta la possibilità di derogare ai limiti di PM10, NO2 e benzene per un periodo di tempo limitato, se è stato attuato un piano di risanamento secondo quanto previsto dalla norma, e, per il PM10, se sussistono condizioni meteorologiche sfavorevoli.

Il decreto stabilisce che per le zone in cui i livelli di inquinanti presenti nell'aria ambiente superano un valore limite o un valore-obiettivo, le regioni devono provvedere a predisporre piani per la qualità dell'aria, al fine di conseguire il relativo valore limite o valore-obiettivo predefinito. Per le aree, invece, in cui i livelli di inquinanti sono inferiori ai valori limite, le regioni devono adottare le misure necessarie per preservare la migliore qualità dell'aria che risulti compatibile con lo sviluppo sostenibile.

Di seguito si riportano i limiti previsti dalla normativa nazionale per i diversi inquinanti. In particolare, nella prima tabella sono riportati i valori limite ed obiettivo per la protezione della salute umana, nella successiva tabella le soglie di informazione ed allarme relativa a SO2, NO2 ed ozono e infine nella terza tabella sono riportati i valori obiettivo e i livelli critici per la protezione della vegetazione.

Inquinante	Tipo di limite	Limite
SO2	Limite orario	$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 24 volte all'anno
	Limite giornaliero	$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 3 giorni all'anno
NO2	Limite orario	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media oraria da non superare più di 18 volte all'anno
	Limite annuale	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	Limite giornaliero	$10 \text{mg}/\text{m}^3$ come media mobile di 8 ore
O3	Valore obiettivo	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media mobile di 8 ore da non superare più di 25 volte all'anno
PM10	Limite giornaliero	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 giorni all'anno
	Limite annuale	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5	Limite annuale	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dal 2015)
Benzene	Limite annuale	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
B(a)P	Valore obiettivo	$1 \text{ng}/\text{m}^3$ come media annuale
As	Valore obiettivo	$6 \text{ng}/\text{m}^3$ come media annuale
Cd	Valore obiettivo	$5 \text{ng}/\text{m}^3$ come media annuale
Ni	Valore obiettivo	$20 \text{ng}/\text{m}^3$ come media annuale
Pb	Limite annuale	$0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabella 1 - Valori limite ed obiettivo per la protezione della salute umana

Inquinante	Tipo di soglia	Valori soglia
SO2	Soglia di allarme	500 µg/m ³ misurata su tre ore consecutive
NO2	Soglia di allarme	400 µg/m ³ misurata su tre ore consecutive
O3	Soglia di informazione	180 µg/m ³ come media oraria
	Soglia di allarme	240 µg/m ³ come media oraria

Tabella 2 - Soglie di informazione ed allarme relative a SO2, NO2 ed ozono

Inquinante	Criticità o obiettivi	Valori
SO2	Livello critico annuale	20 µg/m ³
	Livello critico invernale (1 ott - 31 mar)	20 µg/m ³
Ossidi di Azoto	Livello critico annuale	30 µg/m ³ di NOX
O3	Protezione della vegetazione	AOT40 18.000 µg/m ³ *h come media su 5 anni (AOT40 calcolato dal 1 maggio al 31 luglio)
	Protezione delle foreste	AOT40 18.000 µg/m ³ *h come media su 5 anni (AOT40 calcolato dal 1 aprile al 30 settembre)

Tabella 3 - Valori obiettivo e i livelli critici per la protezione della vegetazione

Infine, tra le ultime disposizioni normative entrate recentemente in vigore sul tema, si ricordano altresì il d.lgs. n. 81/2018⁵ ed il d.lgs. n. 102/2020⁶: il primo provvedimento attua quanto previsto dalla Direttiva 2016/2284/UE (Direttiva NEC- *National Emission Ceiling*) che stabilisce limiti nazionali per le emissioni in atmosfera di specifici inquinanti (biossido di zolfo, ossidi di azoto, composti organici volatili non metanici, ammoniaca e particolato fine) per il periodo 2020-2029 e dal 2030 in avanti e si applica alle emissioni delle sostanze inquinanti originanti da tutte le fonti presenti nel territorio degli Stati membri; il secondo reca disposizioni integrative e correttive al d.lgs. 183/2017, che a sua volta modificava il Codice dell'ambiente, attuando la direttiva (UE) 2015/2193 relativa alla limitazione delle emissioni nell'atmosfera e riordinando il quadro normativo degli stabilimenti che producono emissioni nell'atmosfera; il nuovo decreto opera delle modifiche soprattutto in relazione ai medi impianti di combustione e aggiunge nuove disposizioni volte a razionalizzare e semplificare le procedure autorizzative.

A livello regionale, è stato approvato il Piano Regionale per la Qualità dell'Aria ambiente (PRQA) così come previsto dal Programma Regionale di Sviluppo (PRS) 2016-2020 (approvazione del 18 luglio 2018 con delibera consiliare n. 72/2018).

Il PRQA, previsto dalla l.r. 9/2010⁷, è l'atto di governo del territorio attraverso cui la Regione Toscana persegue in attuazione del PRS 2016-2020 ed 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. 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 d.g.r. 964/2015⁸, riveste un ruolo fondamentale per l'attuazione del PRQA e per la verifica degli effetti delle azioni previste.

⁵ Decreto legislativo 30 maggio 2018, n. 81 "Attuazione della direttiva (UE) 2016/2284 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 dicembre 2016, concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici, che modifica la direttiva 2003/35/CE e abroga la direttiva 2001/81/CE" (GU Serie Generale n. 151 del 02.07.2018).

⁶ Decreto legislativo 30 luglio 2020, n. 102 "Disposizioni integrative e correttive al decreto legislativo 15 novembre 2017, n. 183, di attuazione della direttiva (UE) 2015/2193 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 novembre 2015, relativa alla limitazione delle emissioni nell'atmosfera di taluni inquinanti originati da impianti di combustione medi, nonché per il riordino del quadro normativo degli stabilimenti che producono emissioni nell'atmosfera, ai sensi dell'articolo 17 della legge 12 agosto 2016, n. 170" (GU Serie Generale n. 202 del 13.08.2020).

⁷ Legge regionale n. 9 del 11.02.2010 "Norme per la tutela della qualità dell'aria ambiente"

⁸ Deliberazione Giunta Regionale n. 964 del 12.10.2015 "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. 9/2010 e del D.Lgs. 155/2010".

Uno degli 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.

Con l'entrata in vigore del d.lgs. 155/2010 e s.m.i., la struttura delle Rete regionale di rilevamento della Qualità dell'Aria della Toscana è stata nel corso degli anni modificata a partire da quella di cui all'allegato III della d.g.r.t. 1025/2010, fino alla struttura attualmente ufficiale che è quella di cui all'allegato C della Delibera n. 964 del 12 ottobre 2015.

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) e s.m.i.;
- zone individuate per l'ozono.

Per quanto riguarda le Zone individuate per tutti gli inquinanti eccetto l'ozono, il Comune di Siena, come rappresentato in Figura 1, appartiene alla Zona Collinare montana; si tratta di un'area caratterizzata da bassa densità abitativa e da bassa pressione emissiva, generalmente inferiori a quelle delle altre zone urbanizzate, e comunque concentrata in centri abitati di piccola e media grandezza ed in alcune limitate aree industriali (fonte: Relazione annuale sullo stato della qualità dell'aria nella regione Toscana - anno 2019; ARPAT - Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana).

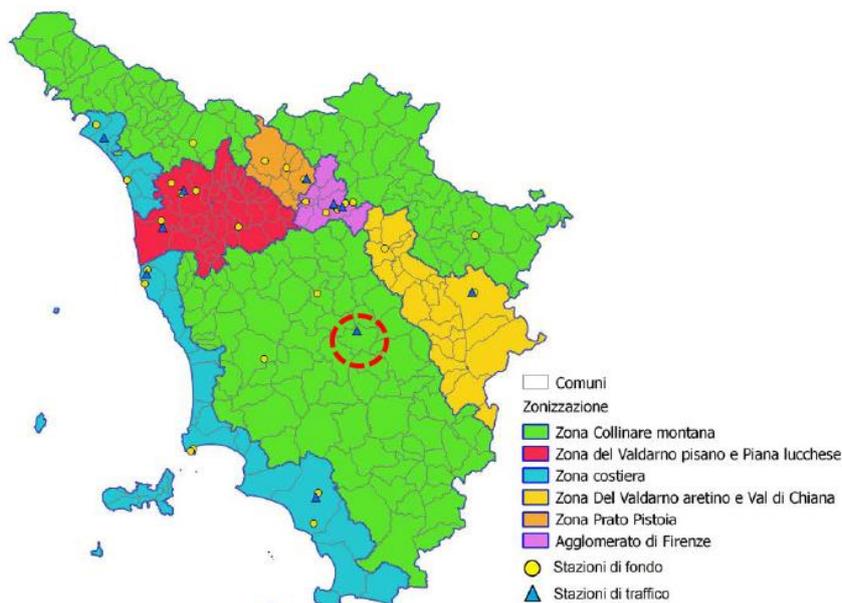


Figura 1 - Zonizzazione e rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria

3 ANALISI METEO-CLIMATICA

L'analisi climatologica del territorio rappresenta un elemento di valutazione essenziale dello stato di qualità dell'aria di un sito: la caratterizzazione del regime dei venti e delle capacità dispersive dell'atmosfera consente infatti di individuare le condizioni meteorologiche più ricorrenti o più critiche per l'accumulo delle sostanze inquinanti.

È nota l'influenza delle condizioni meteorologiche nei fenomeni di inquinamento atmosferico: infatti, a parità di inquinante emesso in atmosfera, le concentrazioni misurate possono essere molto diverse a seconda che si realizzino o meno condizioni favorevoli all'accumulo in aria delle sostanze emesse. In generale, si possono individuare un insieme di parametri meteorologici che caratterizzano la diffusività dei bassi strati dell'atmosfera, e cioè che corrispondono a condizioni di maggiore o minore turbolenza. Per effettuare uno studio climatologico finalizzato a valutare le capacità dispersive dell'atmosfera è quindi necessario individuare alcuni indicatori climatologici sintetici, ottenuti dall'analisi delle principali variabili meteorologiche.

In questa sede, le osservazioni meteorologiche utilizzate sono state desunte dalla Rete regionale di rilevamento dei dati idrometeorologici che, individuata con la d.g.r. n. 857 del 04.10.2010, ad oggi consta di più di 450 stazioni. Il Settore Idrologico Regionale⁹ (SIR) della Toscana assicura la gestione della rete di rilevamento dei dati ambientali di tipo quantitativo riferiti alla risorsa idrica ed ai parametri meteorologici (pluviometri, termometri, anemometri, igrometri, idrometri, freatimetri, mareografi), raccogliendo e pubblicando i dati registrati dalle diverse stazioni di misura.

Nel seguito si fornisce dunque la caratterizzazione meteo-climatica del comparto territoriale in esame, attraverso l'analisi dei principali parametri meteorologici in grado di influenzare la diffusione delle emissioni di inquinanti in atmosfera; per tali analisi, necessarie altresì alle successive modellazioni della dispersione delle concentrazioni, si sono assunti a riferimento i dati misurati dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena che, per disponibilità dei dati e localizzazione sia in termini orografici che di distanza, si ritiene rappresentativa delle condizioni meteo-climatiche dell'ambito indagato; i parametri meteorologici considerati riguardano il regime termico, il regime pluviometrico e quello anemometrico. L'anno di riferimento è il 2019.

La caratterizzazione meteo-climatica condotta per il 2019 è stata raffrontata con quella rappresentativa del territorio di Siena, elaborata dal Consorzio LaMMA¹⁰ sulla base dei dati di cui al SIR per 2 periodi climatici di riferimento trentennali 1971-2000 e 1981-2010; tale analisi permette di ricostruire in termini medi l'andamento meteo-climatico dell'area in esame, verificandone altresì la validità rispetto a quanto emerso per il 2019. Per effettuare un'analisi climatica secondo le norme del WMO (*World Meteorological Organization*) si è ritenuto opportuno ricercare almeno un periodo storico trentennale per poter fotografare e confrontare le condizioni climatiche del passato con quelle attuali. I 30 anni, pur rappresentando una durata convenzionale, sono considerati secondo la comunità scientifica un intervallo temporale sufficiente affinché gli elementi climatici possano presentarsi con una certa regolarità lasciandosi quindi analizzare con opportune metodologie statistiche. Per l'anno in analisi, analogamente a tutti gli anni dal 2010 al 2020, il WMO stabilisce convenzionalmente che la correlazione tra il clima attuale e quello passato, debba essere fatta con il blocco climatico 1971-2000; allo scopo di disporre di un confronto più ampio dei dati, sono state riportate le correlazioni anche con i valori medi dello stato climatico successivo, 1981-2010 (le variabili climatiche per cui è stato condotto il raffronto sono la temperatura e le precipitazioni).

⁹ <https://www.sir.toscana.it/index.php>.

¹⁰ Il LaMMA, Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile, è un consorzio pubblico tra la Regione Toscana ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche (<http://www.lamma.rete.toscana.it/>).

La seguente figura è rappresentativa della localizzazione della stazione di Monteroni d'Arbia Biena, ubicata circa 8 km a sud dell'area di intervento.

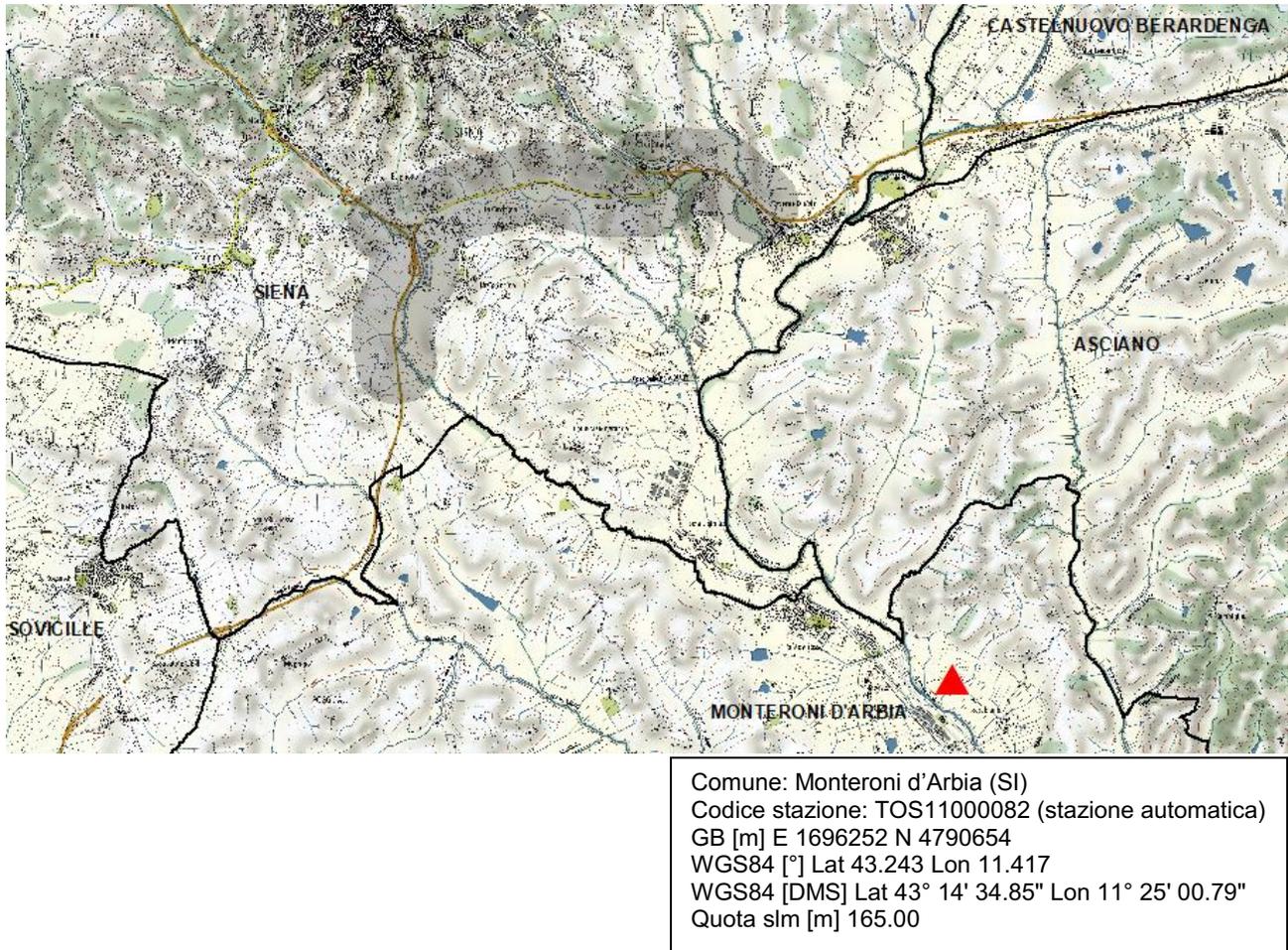


Figura 2 - Localizzazione stazione di riferimento di Monteroni d'Arbia Biena (in rosso) rispetto all'ambito di intervento

Nel seguito si procede all'illustrazione dell'andamento nel corso del 2019 delle variabili metereologiche di cui si è detto:

- precipitazioni;
- temperatura;
- velocità e direzione del vento.

3.1 Regime pluviometrico

Nel corso del 2019 si sono verificate abbondanti precipitazioni nei mesi di aprile, maggio e novembre con valori rispettivamente pari a 111, 113 e 330 mm di pioggia. Il mese meno piovoso è risultato essere giugno, con soli 3,4 mm di pioggia. Le precipitazioni sono risultate complessivamente superiori nel 2019 rispetto a quelle registrate per i periodi 1971-2000 e 1981-2010 in cui si rilevano valori medi poco distanti tra loro, pari rispettivamente a circa 780 mm ed a circa 800 mm.

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
1	0,2	14,6	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
2	-	22,8	0,2	-	0,2	-	-	-	0,2	2,6	2,2	9,8
3	-	6,2	-	0,2	-	0,2	-	0,2	0,2	1	41,4	-
4	-	-	0,2	40,8	0,6	-	-	-	-	0,2	0,4	-
5	-	0,2	-	0,2	10,2	-	-	-	0,2	-	29,4	-
6	0,2	-	0,2	0,2	0,6	0,2	-	-	6,6	0,2	1,2	0,2
7	0,2	-	-	0,8	0,2	-	0,2	-	0,2	-	0,2	4,2
8	0,2	0,6	-	0,2	-	-	-	-	-	-	29,8	-
9	0,2	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	5,2	3
10	0,2	0,2	-	0,6	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4
11	-	-	2,4	2,2	8,6	-	-	-	-	-	12	-
12	-	-	0,6	-	3,2	0,2	-	-	-	-	19	1,6
13	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	1,6	5,6
14	-	-	0,2	24,2	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2
15	-	-	-	-	-	0,4	4,4	-	-	9,2	30,8	-
16	-	-	-	-	-	-	1	-	-	0,4	42,8	-
17	6,2	-	-	0,2	-	0,2	-	-	-	0,2	49,4	-
18	3,6	0,2	14	-	14,2	-	-	-	-	0,2	13,8	-
19	1,2	-	3,2	-	7,8	-	-	-	-	-	29,6	3,2
20	0,2	-	0,2	-	0,2	-	-	-	-	0,2	0,4	8,6
21	5	0,2	-	-	13	-	-	-	-	-	1	10,4
22	3,8	-	-	15,8	1,4	2	-	1	15,2	0,2	0,2	24,6
23	4,8	-	-	7,6	-	0,2	-	-	24,4	-	9,8	-
24	0,2	-	-	-	1,2	-	-	8,2	0,2	19,6	3,4	-
25	-	-	-	0,2	-	-	-	6,4	-	0,2	-	0,2
26	-	-	-	1,8	13	-	-	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
27	1,8	-	-	-	24,6	-	29,4	-	0,2	0,2	4,4	0,2
28	2,2	-	-	0,2	1	-	44,6	39,8	-	0,4	0,4	0,2
29	-	-	-	15,6	9,4	-	0,2	-	-	0,8	-	-
30	2,2	-	-	0,2	-	-	-	0,2	0,2	4,2	0,2	-
31	11,2	-	-	-	0,2	-	0,2	-	-	4,4	-	-
Quantità di pioggia [mm]	43,6	45	21,2	111,2	113,2	3,4	80	56	47,8	44,4	329,6	72,6
Giorni di pioggia [n]	10	3	3	7	13	1	4	4	3	6	18	9

Tabella 4 – Precipitazioni (quantità e giorni di pioggia) rilevate nel 2019 dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI)

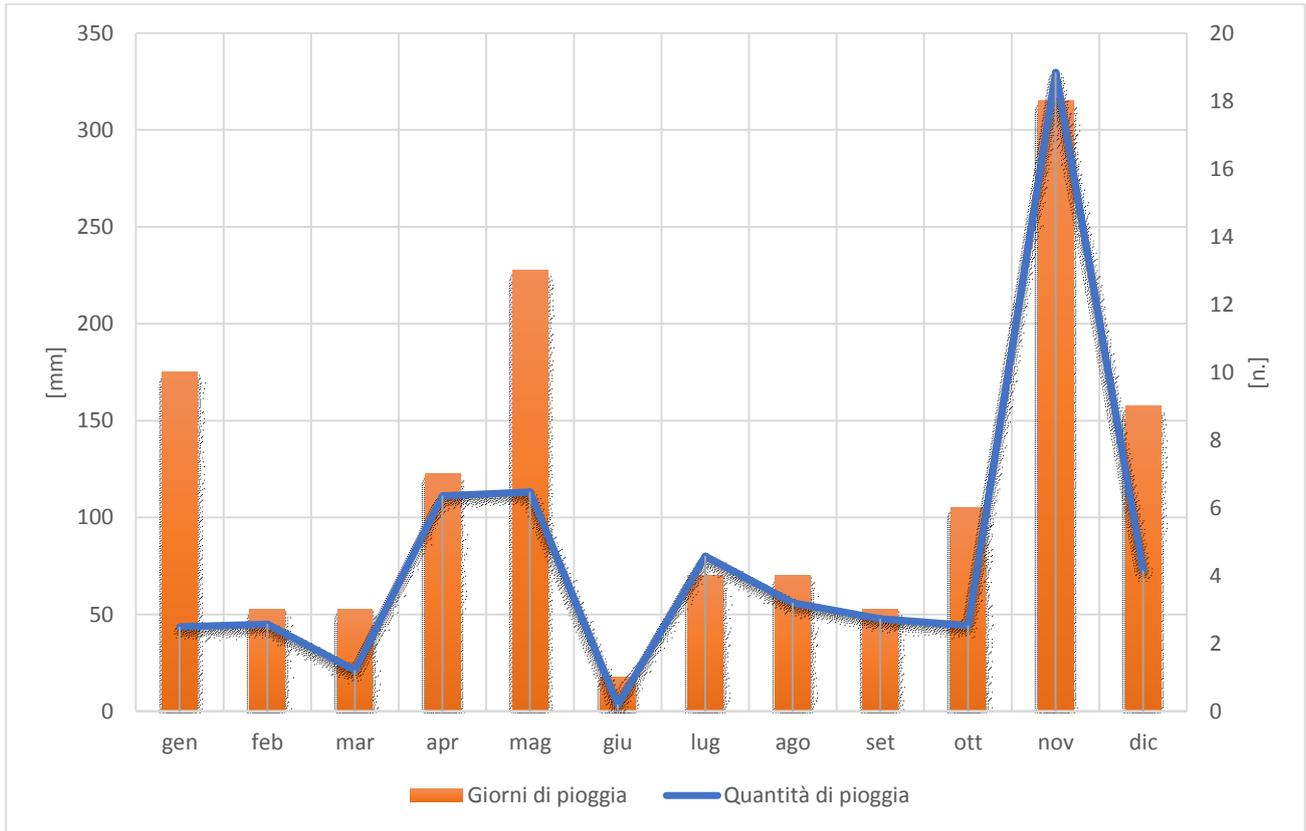


Figura 3 - Precipitazioni (quantità e giorni di pioggia) rilevate nel 2019 dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI)



Figura 4 - Confronto precipitazioni cumulate 2019 vs periodi climatici 1971-2000 e 1981-2010

Appare opportuno evidenziare come il mese di novembre 2019 sia stato caratterizzato da apporti pluviometrici sensibilmente superiori a quelli medi registrati negli ultimi 30 anni; questo è stato rilevato altresì sull'intero territorio regionale, con valori pluviometrici medi superiori a 400 mm, con picchi che puntualmente, addirittura, superano i 1.000 mm, con eccedenze intorno al 150% (corrispondenti a circa 230 mm di pioggia in più). Tale eccesso appare più marcato proprio nelle aree in analisi, così come rappresentato nella figura che segue in cui si riporta il confronto tra le precipitazioni (%) di novembre 2019 con le medie di novembre del periodo 1989-2018 (fonte: report pluviometrici prodotti dal Settore Idrologico Regionale – Direzione Regionale Difesa del Suolo e Protezione Civile – Regione Toscana).

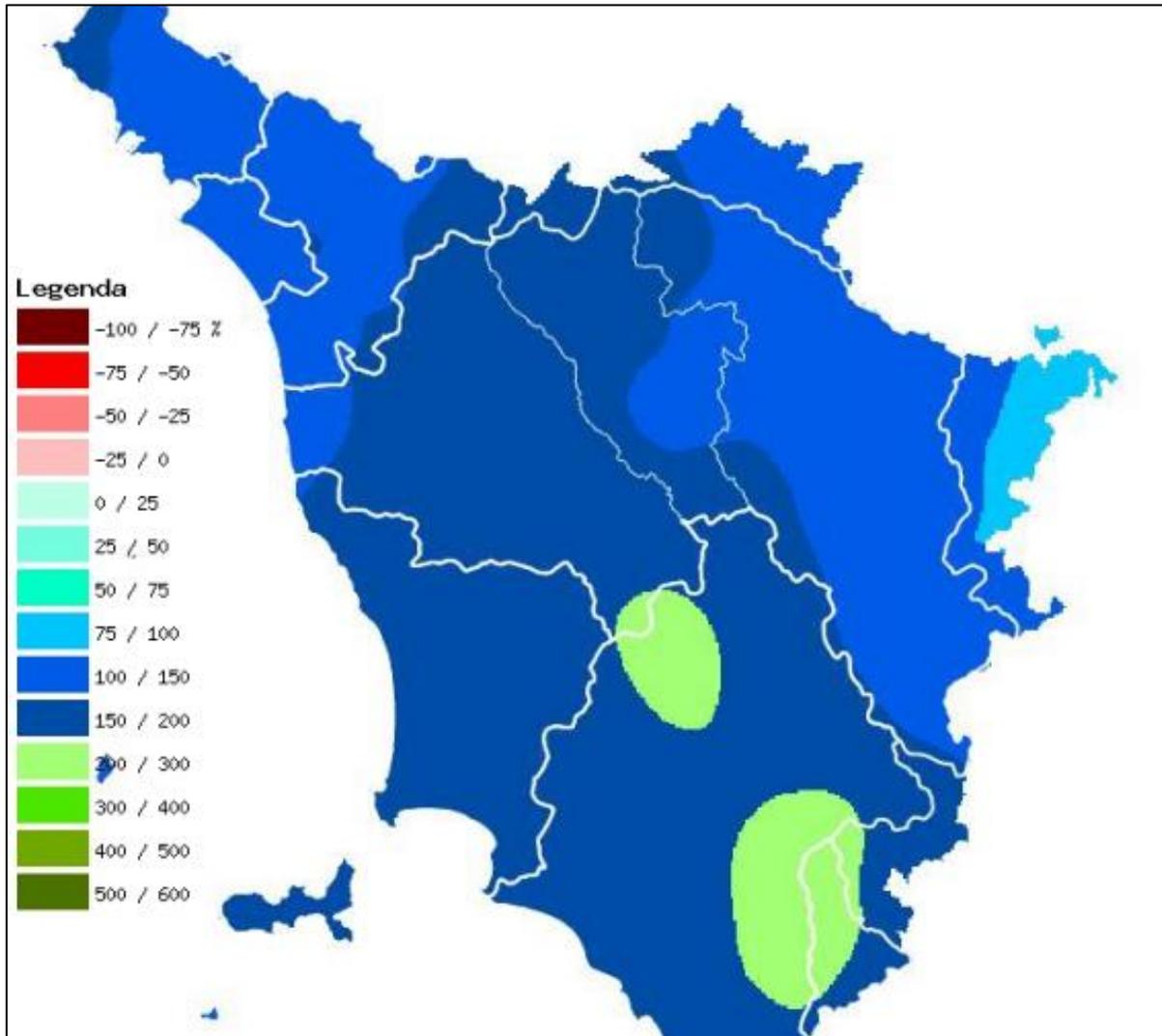


Figura 5 - Confronto tra le precipitazioni di novembre 2019 e quelle medie di novembre del periodo 1989-2018, a scala regionale (%)

3.2 Regime termico

Nel 2019, le temperature più elevate si sono verificate nei tre mesi estivi da giugno ad agosto con valori medi che variano tra i 24,4 e i 26,3°C mentre i mesi più freddi sono risultati essere gennaio e dicembre. Le temperature medie dell'anno 2019 (15,8 °C), rispetto a quelle storiche di riferimento dei due periodi trentennali, sono risultate in aumento, con incrementi di +2,0 °C rispetto al periodo 1971-2000 e di +1,5 °C rispetto al trentennio più recente (1981-2010). Gli incrementi sopra media sono maggiormente riconducibili agli aumenti registrati per la temperatura media massima; quest'ultima, pari a 20,5 °C nel 2019, ha subito un incremento fino a +2,5 °C oltre la media climatica di riferimento 1971-2000 (18,0 °C) ed un incremento fino a +1,7 °C oltre la media climatica di riferimento 1981-2010 (18,8 °C). La temperatura media minima del 2019 (11,0 °C) ha subito anch'essa un incremento, seppur meno significativo di quello rilevato per le temperature medie massime, pari a +1,4 °C in rapporto alla temperatura media minima registrata nel periodo storico di riferimento 1971-2000 (9,6 °C) e di + 1,1 °C in rapporto alla temperatura media minima registrata nel periodo storico di riferimento 1981-2010 (9,9 °C). Le variazioni termiche annuali rispetto alle medie climatiche di riferimento sono pertanto di una certa significatività e confermano, com'era già accaduto del resto anche negli anni precedenti, quanto registrato anche a scala regionale (cfr. Tabella 6; fonte: report termometrici prodotti dal Settore Idrologico Regionale – Direzione Regionale Difesa del Suolo e Protezione Civile – Regione Toscana).

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
1	12,2	12,5	12,4	23,8	18,5	26,1	36,2	32,4	31,5	26,2	15,8	12,4
	5,2	6	6,2	9,2	10,2	14,2	20,5	17,9	19,6	16,2	11,4	7
2	12	10,8	17,2	19,8	20,7	28	36,3	31,1	30,8	21,7	15,1	14,1
	2,5	5,7	4,1	10,2	7	15,6	19,1	19,3	19	14,7	11,8	10,8
3	7,2	8,5	18,9	15,5	17,8	27,3	36,2	33	28,7	16,1	18,1	11,9
	0,6	5,2	7	9,2	11,2	14,1	21,9	19,5	18,3	10,1	13,3	5
4	4,5	11,8	14,6	14,4	17,7	28	34,8	33,4	28,7	20,2	18,7	9,8
	-3,6	3,7	4,7	3,4	10,7	13,9	22,3	20,1	15,5	8,8	12,4	2,6
5	5,5	13,5	15,2	12,8	11,7	27,4	34,9	32,1	30,5	23,2	17,7	10,3
	-1,6	3,1	8,7	3,4	5,1	14,5	21,4	20	15,1	12,8	11,3	4,1
6	11,8	13	16,1	17	13,6	25,1	34,1	32,5	25	24,8	11,7	11,6
	1,2	3,9	6,1	4,1	5	14,7	21	19,6	15,7	12,2	8,1	7,1
7	10,2	14,3	15,5	13,9	18,7	26,4	32,3	30,1	25,2	19,4	14,8	13
	-0,9	3,9	9	6,8	5	14,1	20,2	20,4	15,1	12,6	6,4	7,9
8	7	13,9	16,3	15,2	16,2	29,4	32,4	31,7	24,8	23,3	14,4	13,1
	0,2	4,6	8,7	6	6,8	17,7	20,7	20,9	14,6	10,6	6,9	7,3
9	7,8	10,8	16,5	18,7	19,4	31	32,2	35,3	24,6	22,4	11,6	11,6
	1	3,1	5	8,1	11,1	19	21,7	20,5	14,6	11,3	4,7	7,2
10	7,8	12,2	14,3	15,1	19,1	31,1	28,7	35,8	25,7	22,4	13,1	12,6
	0,9	5,4	6,8	7,2	9,9	20,5	19,7	21,1	12	14,2	4,2	5,3
11	6,6	12,9	15,9	14,8	20,1	28,3	29,5	37,3	30	24,8	12,4	10,8
	0,3	6,9	1,6	8,3	10,2	17,4	17,8	22,1	16,1	11,2	8,9	2,3
12	9,8	14,4	14,1	16,2	16,8	28,4	30,4	35,8	30	23,1	12,7	7,3
	-1	5	1,6	7,3	9,5	16,9	20	22,8	17	13,1	8,9	1,3
13	11,5	13,3	12,1	14	16	29,5	30,5	34,1	29,4	21	13,8	9,8
	2,8	4,4	2,8	6,8	10,7	14,7	18,7	21,1	18,3	11,6	8	0,2
14	15,2	18,1	15,4	12,6	15,9	32,8	29,7	30,4	29,9	23,8	13,5	12,4
	5,6	4,5	4	5,4	7,9	19,4	17,7	18,4	18,5	14,7	7,7	2,8
15	12,4	18,7	19	15,6	13,2	28,3	22	31	28,2	21,7	13,2	14,7
	5,6	6,9	8,7	6,6	5,6	17,3	16,2	17	18,5	13,5	8,5	8,4
16	11,9	17,2	17,8	17,9	21	30	28,4	32,7	31,8	19,6	10,9	13
	3,2	4,2	7,3	8,1	5,7	16	16,4	17,9	17,2	10,8	7,8	10,5
17	8,8	15,9	15,2	21,3	19,3	31,9	32	31,3	30,2	22,5	12,3	15,8

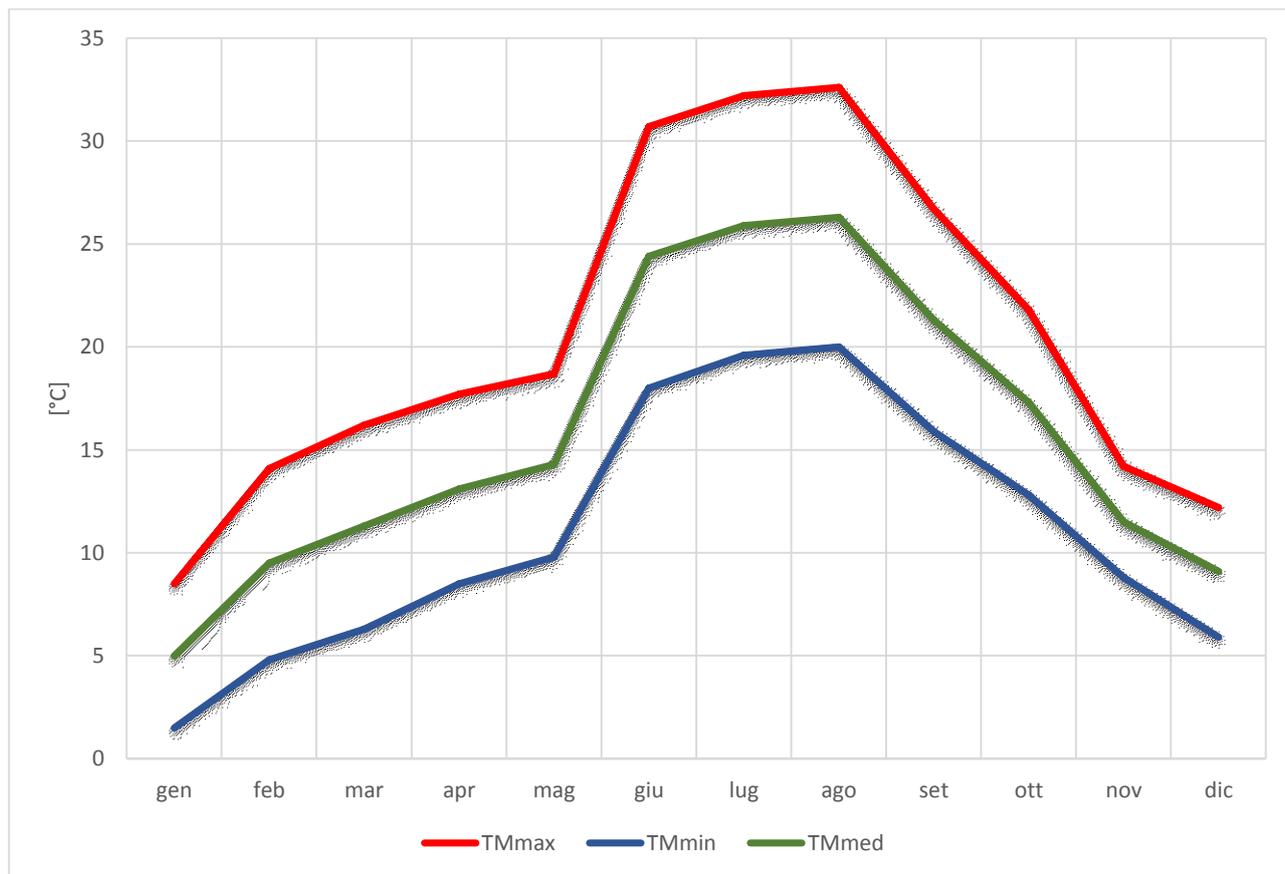
	5,8	4,5	8,4	8,2	8,1	16,2	18,7	19,8	15,5	10,3	6,8	11,9
18	11,5	12,8	10	20,2	17,9	32,5	31	32,8	28,8	19,8	11,4	13,8
	5	3,9	5,6	11,8	11,2	19,3	17,6	17,5	17,7	10,5	5,8	10,9
19	8,2	10,9	10,4	21,7	16,5	31,7	31,8	33,8	23,3	20,3	11,1	12,7
	4,1	6,4	4,8	11,8	10,9	18,9	18	19,3	16,4	13,7	9,1	8,8
20	8,4	14,8	11,8	21,7	17,6	30,4	34,2	35	23,2	20	15,7	12,2
	2,8	5	4,5	10,9	10,1	17,4	18,3	19,8	13,9	13,1	8,5	7
21	6,2	15,4	16,6	21,7	20,7	30,4	34,3	35,1	24,7	24,3	11,7	16,5
	2	4,9	4,5	13,3	10,4	17	19	21	12,2	15,9	8	9,5
22	2,4	15,7	20,6	19	20,5	27,7	35,7	32,3	18,5	26,3	12,8	12,7
	-0,1	6,4	7,5	11,5	12	17,7	19,2	20,7	14,3	16	7,6	9,1
23	4,2	10,2	22,3	15,9	23,2	31	36,1	30,2	20,7	24,9	15	15
	-0,1	3,8	9,5	11,5	12,2	18	23,6	20,1	16,3	15,5	10,1	8,1
24	7,3	11,3	24,7	20,8	24,1	32,3	37,9	28,8	24,1	18	14,4	13,6
	1,6	2,1	11,1	13,1	11,9	19	24,7	18,1	14	14,2	10,4	5
25	6,8	15,8	21,5	23,2	23,9	34,9	38,6	31,3	24,5	21,6	17,8	15,7
	0,4	2,7	7,9	11,8	10,9	21,8	25	19	15,1	13	11,1	8,3
26	10,2	18	10,6	17,3	18,5	34,4	34,5	32,5	26	25,6	17,1	13,4
	-0,2	8	6,2	11,1	13,3	22,7	22,5	20,3	14,6	14	8,4	5,1
27	10,2	21,9	13,7	19,3	21,5	38,4	30,4	32,5	24,7	23,7	12,9	12,2
	0,4	6,5	5,9	10,3	12,8	23,2	17,4	20,2	14,7	13	9,2	3,8
28	7,8	17	12,7	17,9	19,5	38	23,1	29,6	26,1	21,3	15,2	8,8
	2,7	5	5,4	7,5	12,6	23,8	15,5	21,3	15	11	10,3	3,3
29	9		16,6	14,4	18,3	33,1	27,8	32,6	25,2	19,7	13,9	9,4
	1,1		7	6,3	12,6	23,2	18,1	20	16,1	11,5	10,7	1,1
30	2,6		21	19,3	17,6	36,7	31,5	33,6	26,2	17,9	15,8	8,9
	-0,2		7,7	6,6	12,2	21,1	17,4	21,1	14,9	13,5	8,1	0,5
31	5,9		22,7		22,9		30,4	31,9		16		10,5
	-1,5		7,1		12,1		17,9	21,7		13,1		1
TMmax	8,5	14,1	16,2	17,7	18,7	30,7	32,2	32,6	26,7	21,8	14,2	12,2
TMmin	1,5	4,8	6,3	8,5	9,8	18	19,6	20	15,9	12,8	8,8	5,9
TMmed	5	9,5	11,3	13,1	14,3	24,4	25,9	26,3	21,3	17,3	11,5	9,1

TMmax: media dei massimi mensili (valore annuo: 20,5 °C)

TMmin: media dei minimi mensili (valore annuo: 11,0 °C)

TMmed: media mensile (valore annuo: 15,8 °C)

Tabella 5 - Temperature rilevate nel 2019 dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI)



TMmax: media dei massimi mensili (valore annuo: 20,5 °C)

TMmin: media dei minimi mensili (valore annuo: 11,0 °C)

TMmed: media mensile (valore annuo: 15,8 °C)

Figura 6 – Temperature medie mensili elaborate per il 2019 (media, minima e massima), dati rilevati dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI)

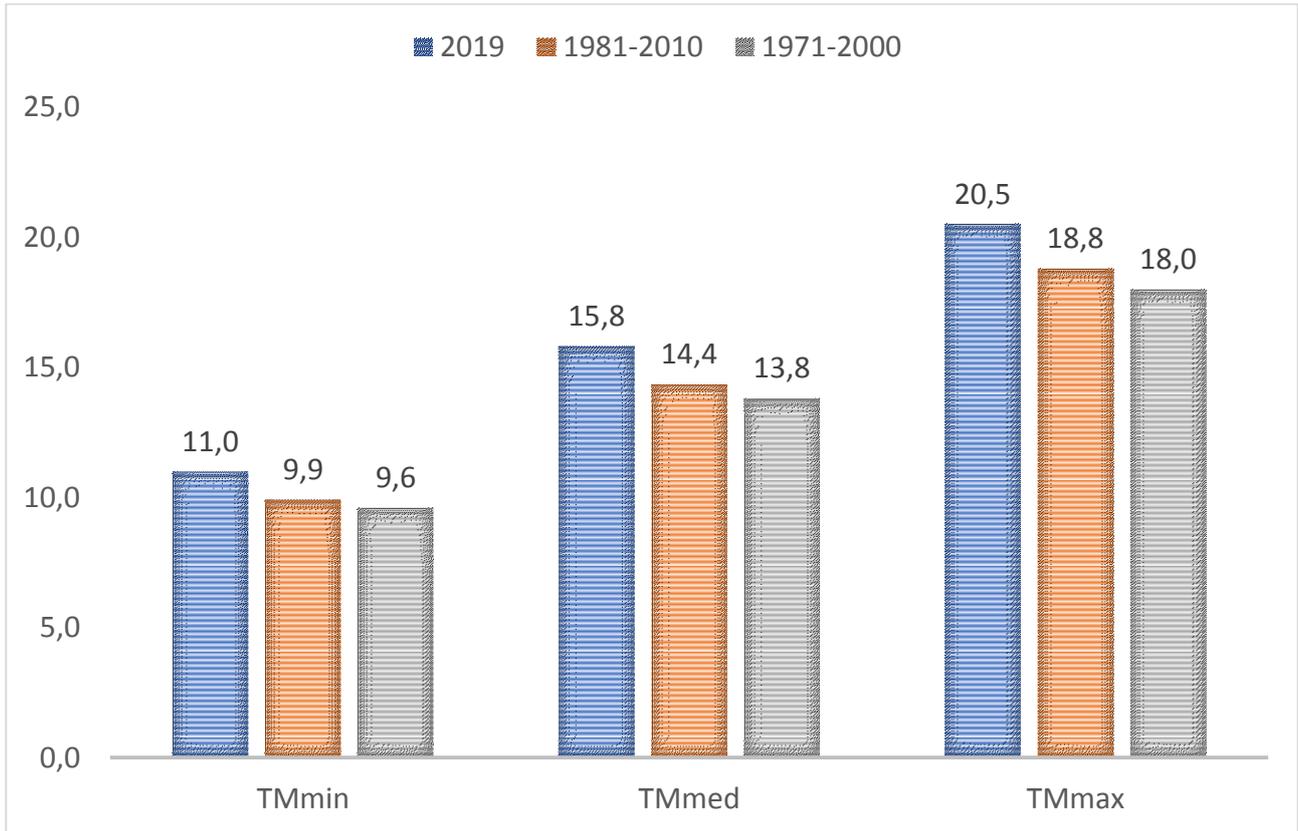


Figura 7 - Confronto temperature annue, massime e minime 2019 vs periodi climatici 1971-2000 e 1981-2010

T. medie a scala regionale [°C]	WMO 1971-2000	WMO 1981-2010	2019	2019 vs 1981-2010	2019 vs 1971-2000
Media	14,1	14,3	15,1	+0,8	+1,0
Media massime	18,9	19,1	19,9	+0,7	+0,9
Media minime	9,1	9,4	10,1	+0,8	+1,1

Tabella 6 - Confronto temperature medie annue, massime e minime – rilevate a scala regionale - 2019 vs periodi climatici di riferimento WMO (1971-2000 e 1981-2010)

3.3 Regime anemometrico

La velocità media del vento nel 2019 varia da 1,2 m/s di ottobre ai 2,0 m/s di marzo, con una media annua pari a 1,6 m/s; i valori medi mensili di velocità del vento degli ultimi 5 anni sono risultati inferiori rispetto a quelli rilevati nel 2019, con sensibili variazioni in particolare nei mesi di luglio, novembre e dicembre, così come il valore medio su base annua che si attesta a circa 1,3 m/s, con una differenza rispetto al valore di cui al 2019 di 0,3 m/s.

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Vmax	14,5	20,8	17,7	12,1	12,5	12	19,6	20,7	13,8	14,4	15,8	18,9
Vmed	1,4	1,9	2,0	1,6	1,6	1,4	1,8 NO	1,4	1,5	1,2	1,7	1,6

Vmax: intensità massima di vento [m/s]

Vmed: media mensile dell'intensità del vento [m/s]

Tabella 7 – Intensità del vento rilevate nel 2019 dalla stazione di Monteroni d'Arbia Biena (SI)

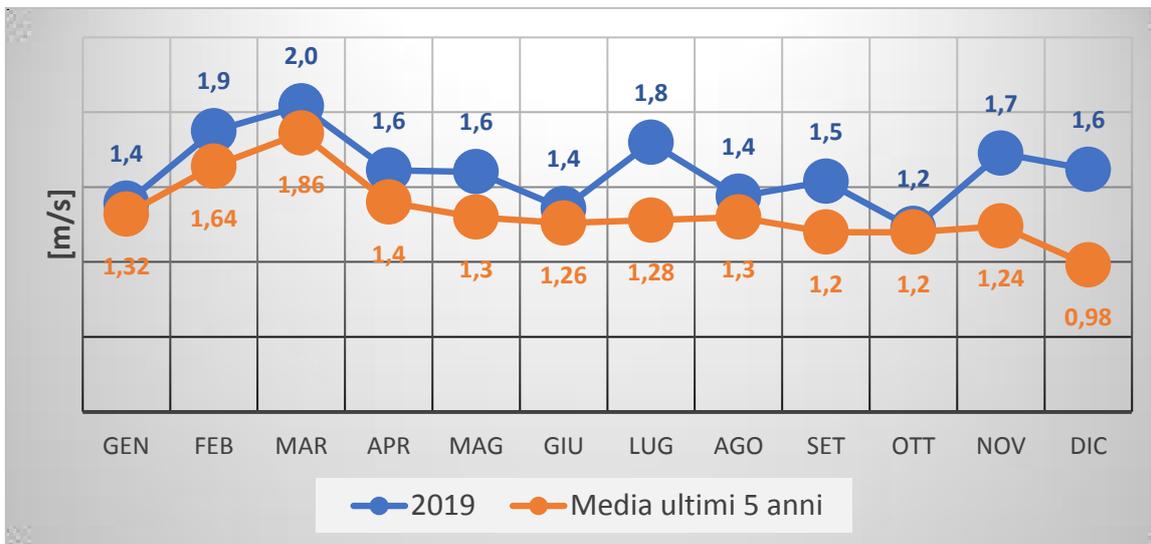


Figura 8 - Confronto velocità media del vento 2019 vs media ultimi 5 anni (2015-2019) - Monteroni d'Arbia Biena (SI)

Di seguito, si riporta il trend anche del valore medio delle velocità massime registrate mensilmente nel corso del 2019 confrontato con quello rappresentativo degli ultimi 5 anni.

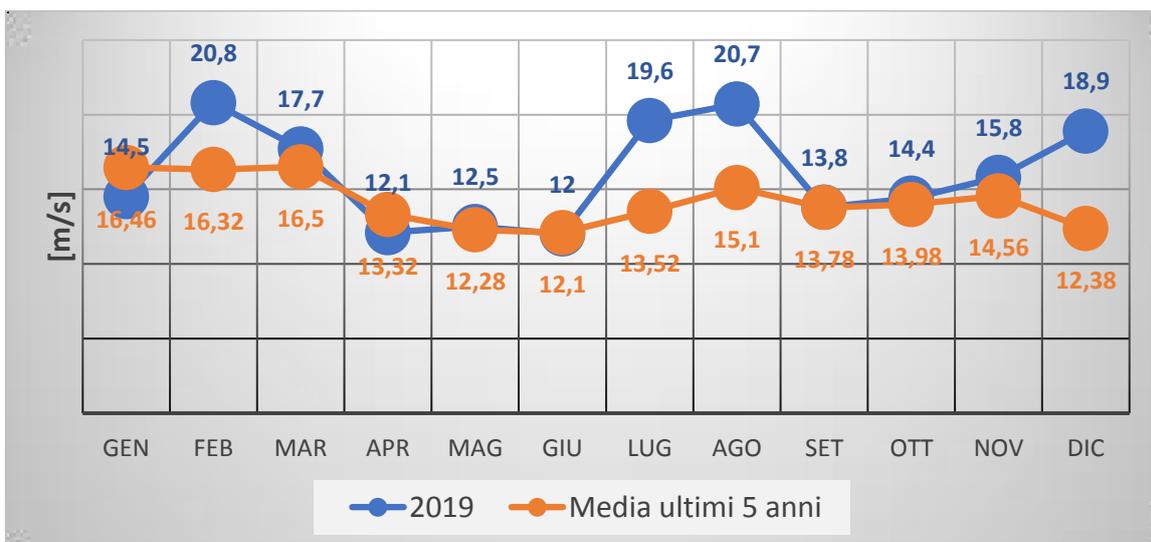


Figura 9 - Confronto media della velocità massima del vento 2019 vs media ultimi 5 anni (2015-2019) - Monteroni d'Arbia Biena (SI)

La caratterizzazione meteorologica dell'area in esame si basa inoltre sull'analisi dei regimi anemologici e sulla classificazione delle diverse tipologie di condizioni atmosferiche. Infatti, l'intensità e la direzione del vento, la turbolenza e la stabilità atmosferica sono le quantità fondamentali nello studio della dispersione degli inquinanti in atmosfera.

Le direzioni di provenienza osservate su base annua sono prevalentemente relativi ai quadranti S-SO-O; per circa il 50% del periodo di osservazione (anno 2019), si rilevano condizioni di "calma di vento", ovvero con velocità del vento inferiori a 1 m/s; in questa condizione, gli inquinanti stazionano o diffondono lentamente sull'area di studio. La velocità del vento è inferiore a 3 m/s per circa l'85% del periodo di osservazione.

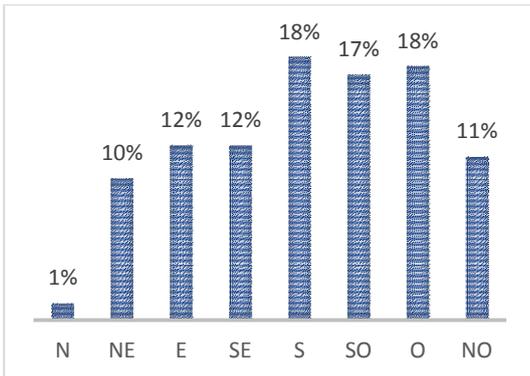


Figura 10 - Distribuzione delle direzioni del vento

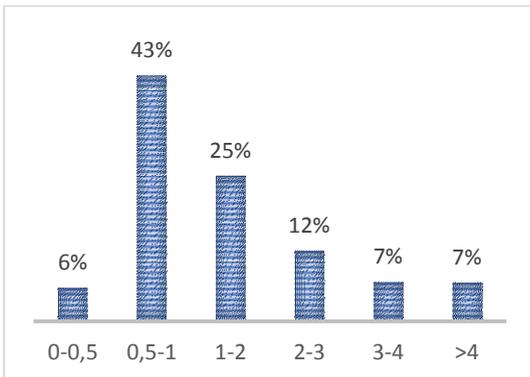
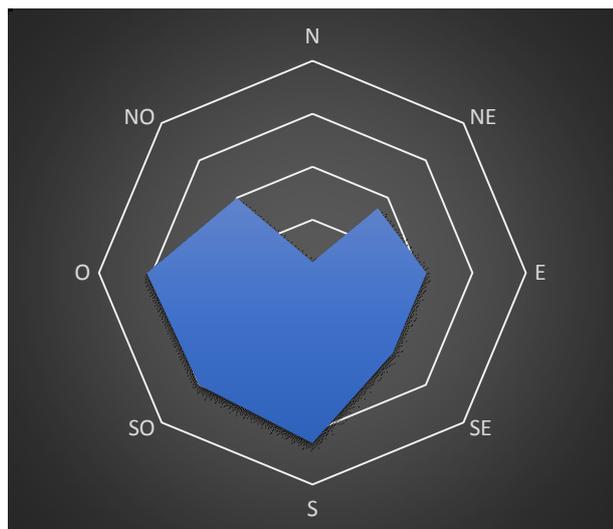


Figura 11 - Distribuzione delle classi di velocità del vento



NORD	dir >= 337.7 o dir < 22.5
NORD-EST	dir >= 22.5 o dir < 67.5
EST	dir >= 67.5 o dir < 112.5
SUD-EST	dir >= 112.5 o dir < 157.5
SUD	dir >= 157.5 o dir < 202.5
SUD-OVEST	dir >= 202.5 o dir < 247.5
OVEST	dir >= 247.5 o dir < 292.5
NORD-OVEST	dir >= 292.5 o dir < 337.5

Figura 12 - Rosa dei venti (direzioni su base annua)

4 IL QUADRO DELLE EMISSIONI

Le informazioni relative alle emissioni atmosferiche sono state desunte dalla banca dati IRSE, l'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissioni in atmosfera; si tratta di una raccolta dei quantitativi di inquinanti emessi da tutte le sorgenti presenti nel territorio regionale, sia industriali che civili e naturali. Le sorgenti emissive incluse nell'Inventario sono classificate secondo la nomenclatura standard europea denominata SNAP '97 (*Selected Nomenclature for Air Pollution*) che le divide in 11 macrosettori così come di seguito definiti.

01. Combustione nell'industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche

Il macrosettore riunisce le emissioni di caldaie, turbine a gas e motori stazionari e si focalizza sui processi di combustione necessari alla produzione di energia su ampia scala e alla sua trasformazione.

02. Impianti di combustione non industriali

Comprende i processi di combustione finalizzati per la produzione di calore (riscaldamento) per le attività di tipo non industriale: sono compresi, quindi, gli impianti commerciali ed istituzionali, quelli residenziali (riscaldamento e processi di combustione domestici quali camini, stufe, ecc.) e quelli agricoli.

03. Impianti di combustione industriale e processi con combustione

Comprende tutti i processi di combustione strettamente correlati all'attività industriale e, pertanto, vi compaiono tutti i processi che necessitano di energia prodotta in loco tramite combustione: caldaie, forni, prima fusione di metalli, produzione di gesso, asfalto, cemento, ecc.

04. Processi produttivi

Comprende le rimanenti emissioni industriali che non si originano in una combustione, ma da tutti gli altri processi legati alla produzione di un dato bene o materiale (tutte le lavorazioni nell'industria siderurgica, meccanica, chimica organica ed inorganica, del legno, della produzione alimentare, ecc.).

05. Estrazione, distribuzione combustibili fossili e geotermia

Il macrosettore raggruppa le emissioni dovute ai processi di produzione, distribuzione, stoccaggio di combustibile solido, liquido e gassoso e riguarda sia le attività sul territorio che quelle off-shore. Comprende, inoltre, anche le emissioni dovute ai processi geotermici di estrazione dell'energia.

06. Uso di solventi

Comprende tutte le attività che coinvolgono l'uso di prodotti contenenti solventi, ma non la loro produzione. (es. dalle operazioni di verniciatura e sgrassaggio sia industriale che non, fino all'uso domestico che si fa di tali prodotti).

07. Trasporti su strada

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.

08. Altre sorgenti mobili e macchine

Include il trasporto ferroviario, la navigazione interna, i mezzi militari, il traffico marittimo, quello aereo e le sorgenti mobili a combustione interna non su strada, come ad esempio mezzi agricoli, forestali (motoseghe, apparecchi di potatura, ecc.), quelli legati alle attività di giardinaggio (falciatrici, ecc.) e i mezzi industriali (ruspe, caterpillar, ecc.).

09. Trattamento e smaltimento rifiuti

Comprende le attività di incenerimento, spargimento, interrimento di rifiuti, ma anche gli aspetti ad essi collaterali come il trattamento delle acque reflue, il compostaggio, la produzione di biogas, lo spargimento di fanghi, ecc.

10. Agricoltura

Comprende le emissioni dovute a tutte le pratiche agricole ad eccezione dei gruppi termici di riscaldamento (inclusi nel macrosettore 3) e dei mezzi a motore (compresi nel macrosettore 8): sono incluse le emissioni dalle coltivazioni con e senza fertilizzanti e/o antiparassitari, pesticidi, diserbanti, l'incenerimento di residui effettuato in loco, le emissioni dovute alle attività di allevamento (fermentazione enterica, produzione di composti organici) e di produzione vivaistica.

11. Natura e altre sorgenti e assorbimenti

Comprende tutte le attività non antropiche che generano emissioni (attività fitologica di piante, arbusti ed erba, fulmini, emissioni spontanee di gas, emissioni dal suolo, vulcani, combustione naturale, ecc.) e quelle attività gestite dall'uomo che ad esse si ricollegano (foreste gestite, piantumazioni, ripopolamenti, combustione dolosa di boschi).

Gli inquinanti presi in considerazione nell'inventario sono i seguenti:

- inquinanti principali: monossido di carbonio (CO) – composti organici volatili, con l'esclusione del metano (COV) – particelle sospese con diametro inferiore a 10 micron (PM10) – particelle sospese con diametro inferiore a 2,5 micron (PM2.5) – ammoniaca (NH3) – ossidi di azoto (NOX) – ossidi di zolfo (SOX) – idrogeno solforato (H2S);
- gas serra: anidride carbonica (CO2) – metano (CH4) – protossido di azoto (N2O);
- metalli pesanti: Arsenico (As) – Cadmio (Cd) – Cromo (Cr) – Rame (Cu) – Mercurio (Hg) – Manganese (Mn) – Nichel (Ni) – Piombo (Pb) – Selenio (Se) – Zinco (Zn)
- idrocarburi policiclici aromatici e benzene: benzo[a]pirene (BAP) – benzo[b]fluorantene (BBF) – benzo[k]fluorantene (BKF) – indeno[123cd]pirene (INP) – benzene (C6H6) – black carbon (BC).

Ad oggi, l'IRSE ha conosciuto sei edizioni relative agli anni 1995, 2000, 2003, 2005 e 2007 e 2010.

Nel seguito sono riportati gli andamenti relativi alle principali sostanze inquinanti censite nell'inventario, selezionate anche in termini di maggiore correlazione alla fonte "traffico stradale", negli anni 1995, 2000, 2005 e 2010 (valori espressi in tonnellate/anno); il comparto territoriale di analisi è quello composto dal Comune di Siena e dai comuni limitrofi: Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia e Sovicille (fonte: Regione Toscana – Inventario Regionale sulle Sorgenti di Emissione in aria ambiente IRSE – aggiornamento anno 2010).

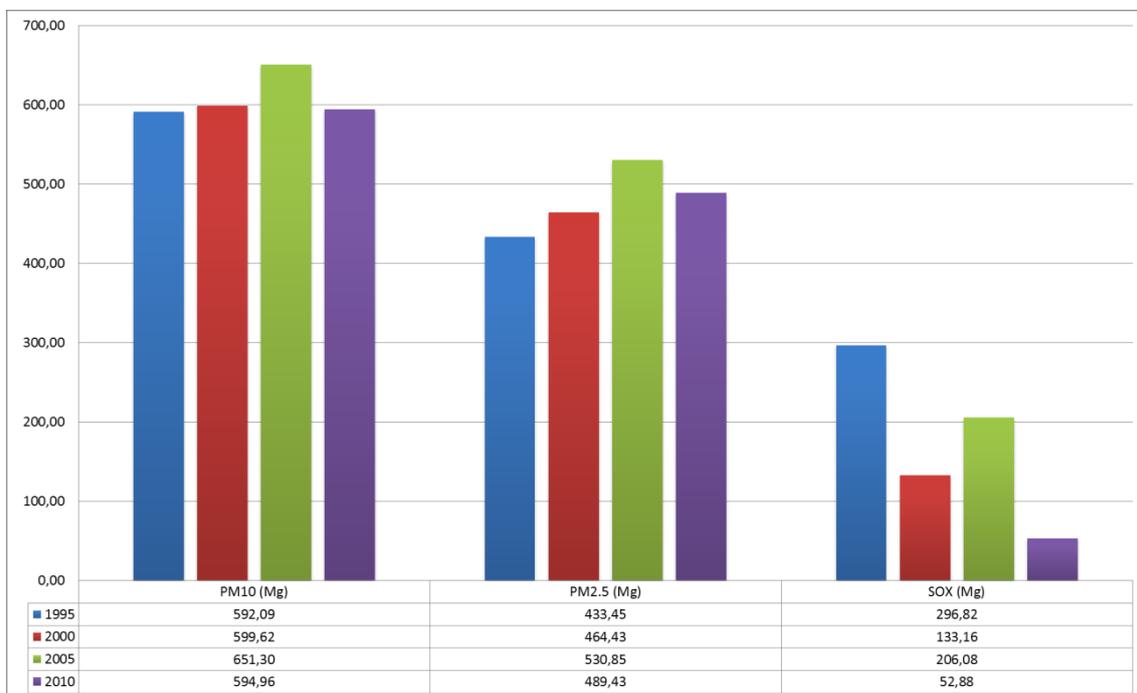


Figura 13 - Andamento emissioni PM10, PM2.5 ed SOX; anni 1995-2000-2005-2010

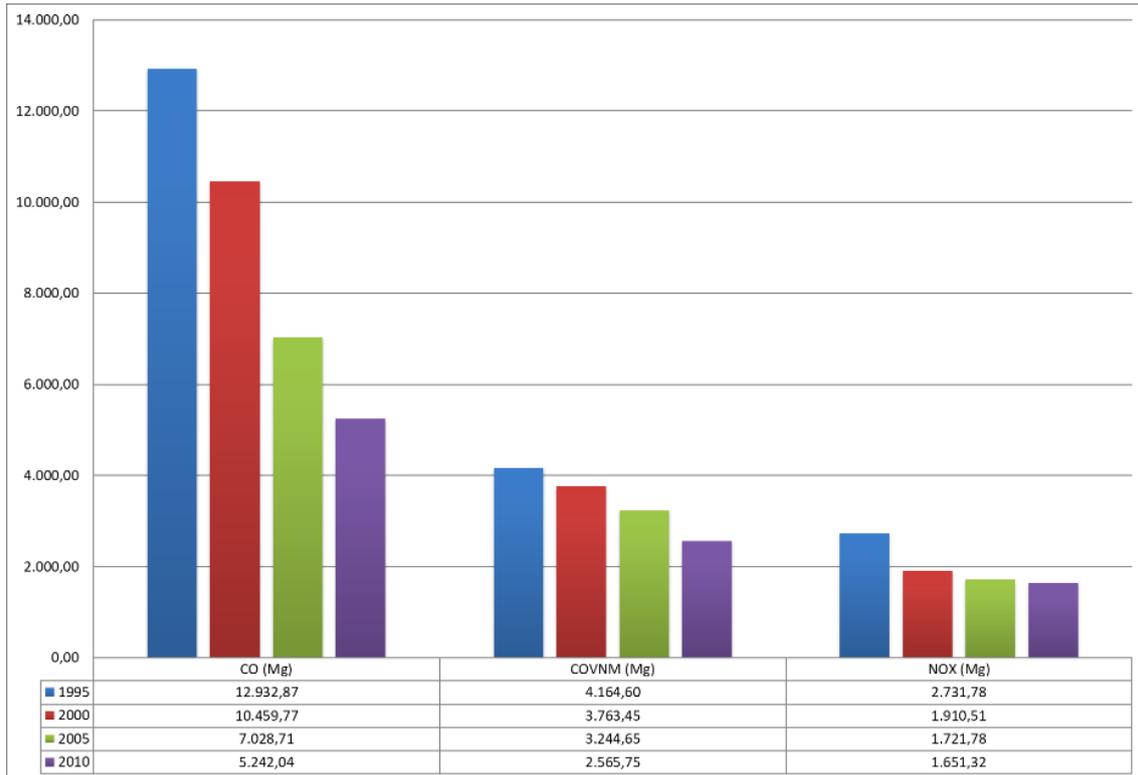


Figura 14 - Andamento emissioni CO, COVNM ed NOX; anni 1995-2000-2005-2010

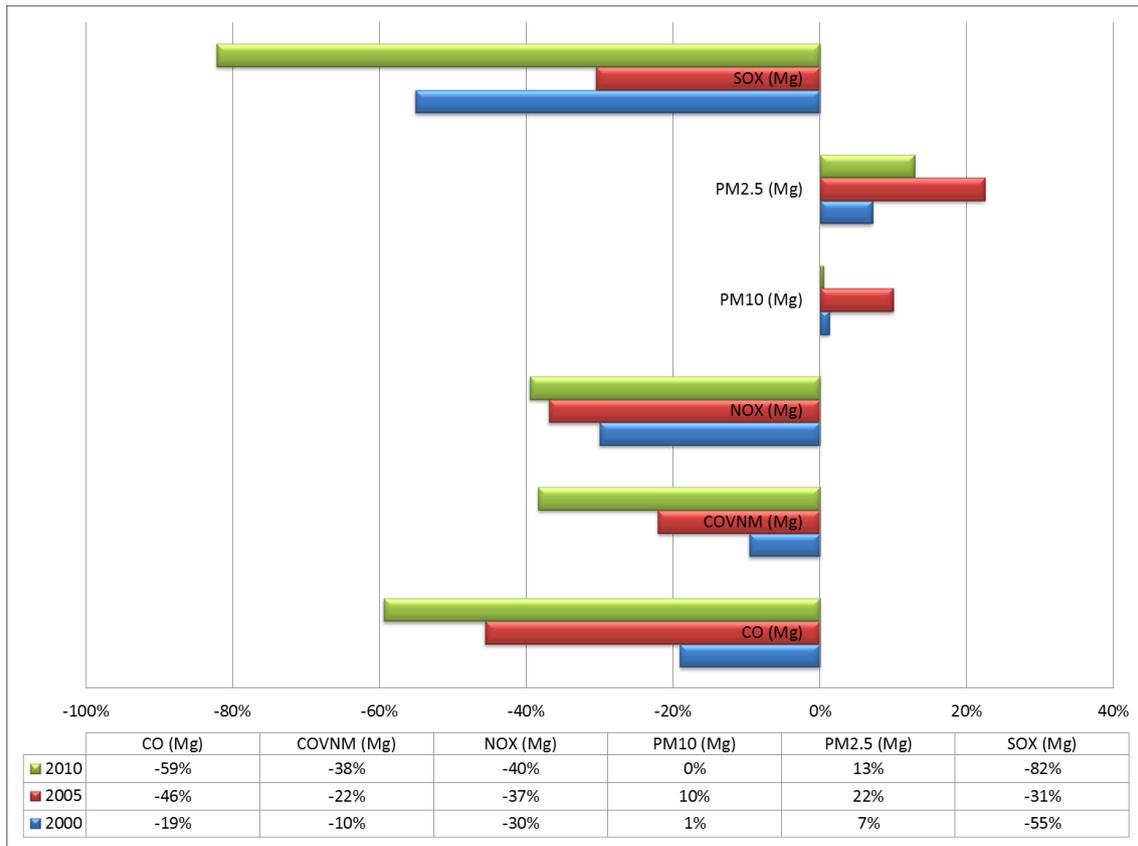


Figura 15 - Variazione % emissioni al 2010, 2005 e 2000 rispetto al 1995

Le seguenti figure sono rappresentative dell'andamento nel corso degli anni di ciascun inquinante considerato in relazione alle fonti che ne contribuiscono all'emissione; per semplicità di lettura, i macrosettori sono stati aggregati così come di seguito indicato:

- **industria** che comprende i macrosettori: "Combustione nell'industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche", "Impianti di combustione industriale e processi con combustione", "Processi Produttivi";
- **riscaldamento** che comprende il macrosettore: "Impianti di combustione non industriali";
- **mobilità** che comprende i macrosettori: "Trasporti stradali", "Altre Sorgenti Mobili";
- **altro** che comprende i macrosettori: "Estrazione, distribuzione combustibili fossili ed energia geotermica", "Uso di solventi", "Trattamento e Smaltimento Rifiuti", "Agricoltura", "Natura".

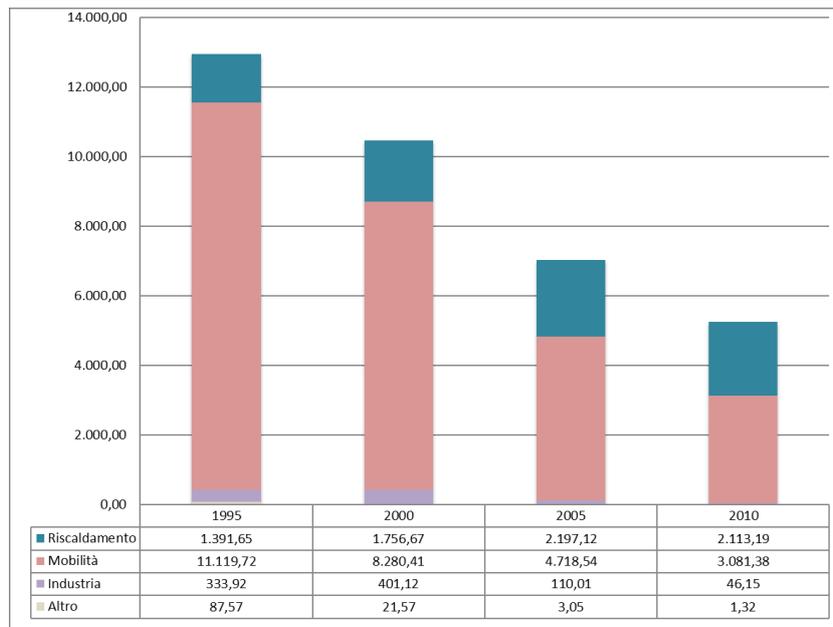


Figura 16 - Emissioni CO [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010

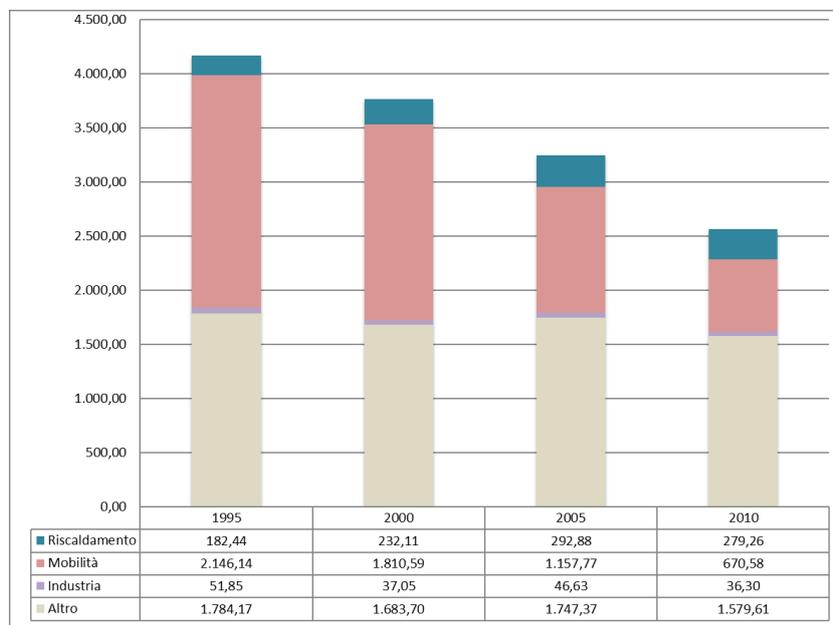


Figura 17 - Emissioni COVNM [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010

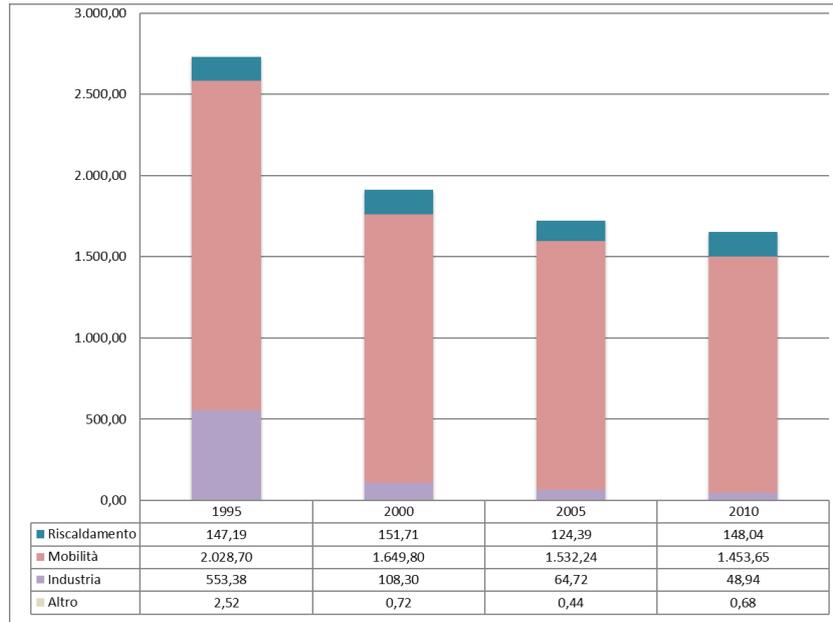


Figura 18 - Emissioni NOx [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010

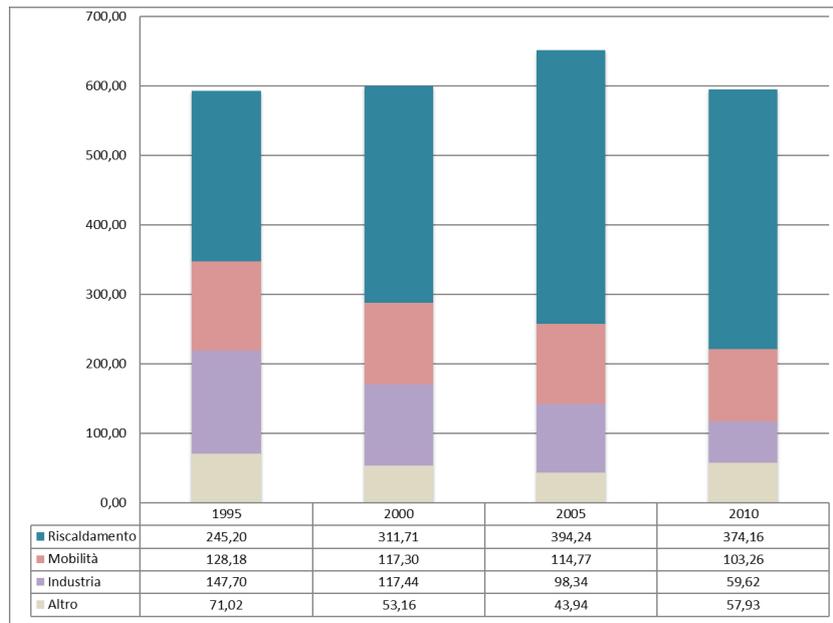


Figura 19 - Emissioni PM10 [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010

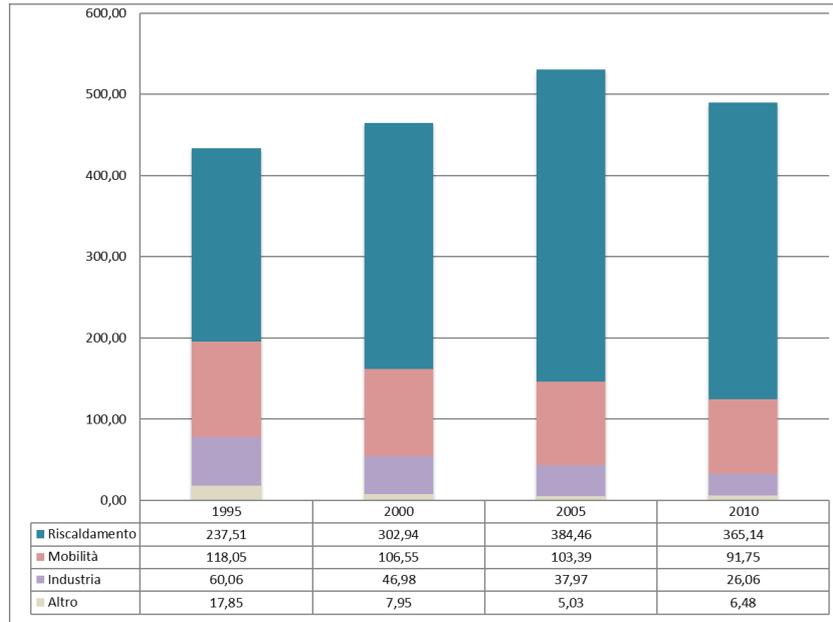


Figura 20 - Emissioni PM2.5 [tonnl/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010

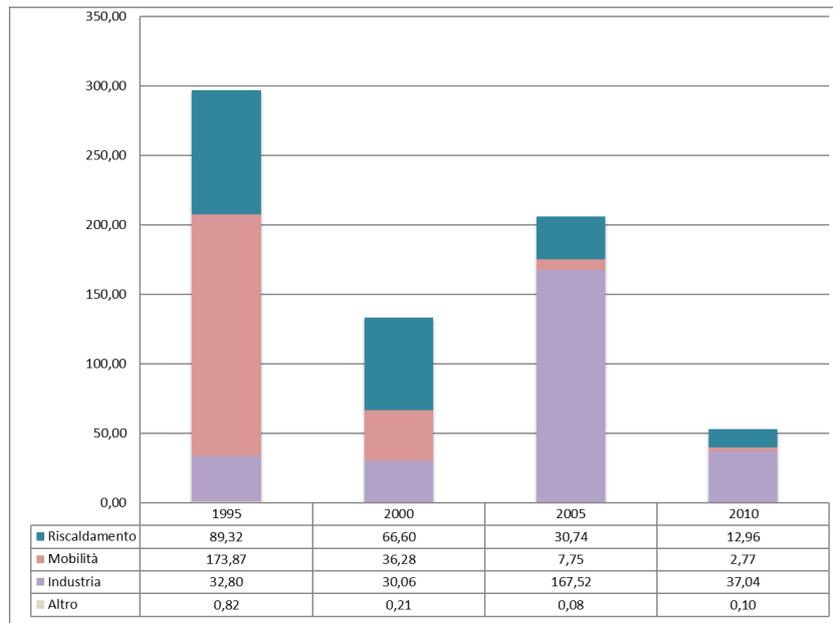


Figura 21 - Emissioni SOX [tonnl/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010

I grafici mostrano come le emissioni di tutti gli inquinanti considerati siano sensibilmente diminuite rispetto a quanto registrato nel 1995, eccezion fatta per il particolato.

Relativamente al monossido di carbonio (CO), il grafico mostra un trend decrescente. Le stime infatti indicano nel 1995 un valore complessivo di circa 12.900 tonnellate e di 5.240 tonnellate nel 2010, con una riduzione del carico emissivo di circa il 60%; il settore che più ha contribuito a tale riduzione risulta essere quello dei trasporti.

Anche per gli ossidi di azoto (NOX) ed i composti organici volatili non metanici (COVNM) si rileva una significativa riduzione delle relative emissioni, rispettivamente del 40 e del 38% in meno rispetto a quelle stimate per il 1995; tale riduzione è da ascrivere prevalentemente alla riduzione delle emissioni dovute al settore della mobilità per quanto riguarda i COVNM ed a quello dell'industria per gli ossidi di azoto.

Le emissioni degli ossidi di zolfo (SOX) sono quelle che tra il 1995 ed il 2010 hanno avuto il maggior decremento, pari ad una riduzione complessiva di oltre l'80%.

Osservando i dati ed i relativi grafici di cui al particolato, si desume come, al contrario rispetto a quanto evidenziato per gli altri inquinanti, vi sia un andamento crescente del carico emissivo fino al 2005 ed una inversione di tendenza nel corso degli anni successivi, più marcata per quanto riguarda il PM2.5; il settore che maggiormente contribuisce alle emissioni di particolato è il riscaldamento domestico, che ha visto aumentate le proprie emissioni dal 1995 al 2010 di circa il 50%; al contrario, nel medesimo periodo, i settori relativi alla mobilità ed all'industria hanno avuto un significativo calo delle relative emissioni, rispettivamente pari a circa al 20 ed al 60%.

Per tutti gli inquinanti di cui si è detto, nel periodo compreso tra il 1995 ed il 2010, si rileva il medesimo trend anche a scala regionale: CO -59%; NOX -38%; COVNM -37%; -90% SOX. A seguire, le figure rappresentative dell'andamento delle emissioni di PM10 e PM2.5, in cui è evidente anche a livello regionale, l'inversione di tendenza alla crescita delle emissioni avvenuta dal 2007 (fonte: estratto Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente – IRSE, aggiornamento all'anno 2010; Regione Toscana). Tale andamento, se si osservano i dati disponibili alla più ampia scala nazionale, nel corso degli anni è continuato; il carico emissivo di particolato, infatti, a partire dal 2008 è costantemente diminuito in ragione prevalentemente di una significativa riduzione delle emissioni riconducibili al settore dei trasporti, come appare evidente in Figura 23 (fonte: estratto *Italian Emission Inventory 1990-2018, Informative Inventory Report 2020*; ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

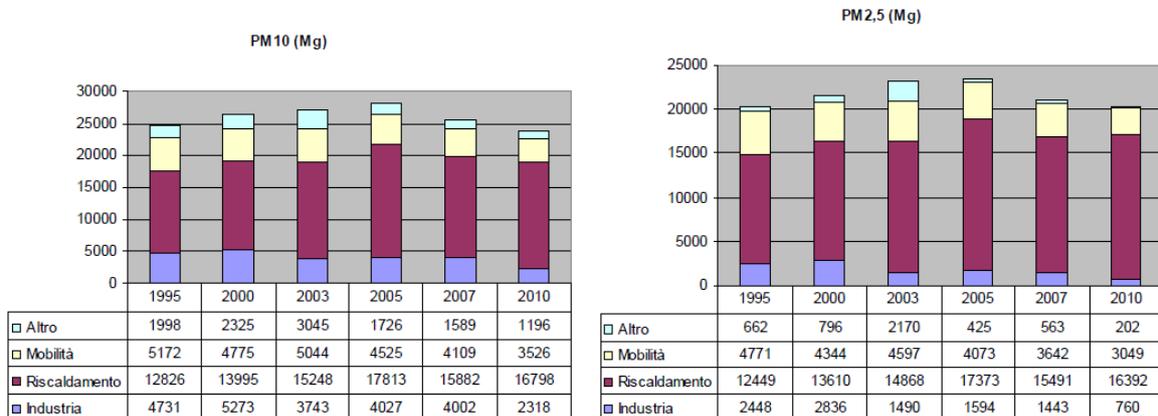
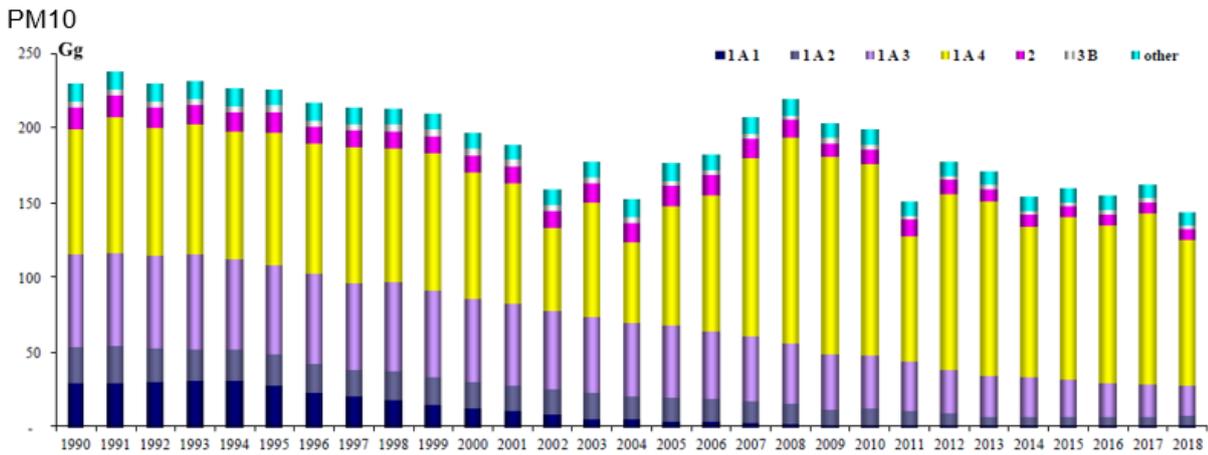
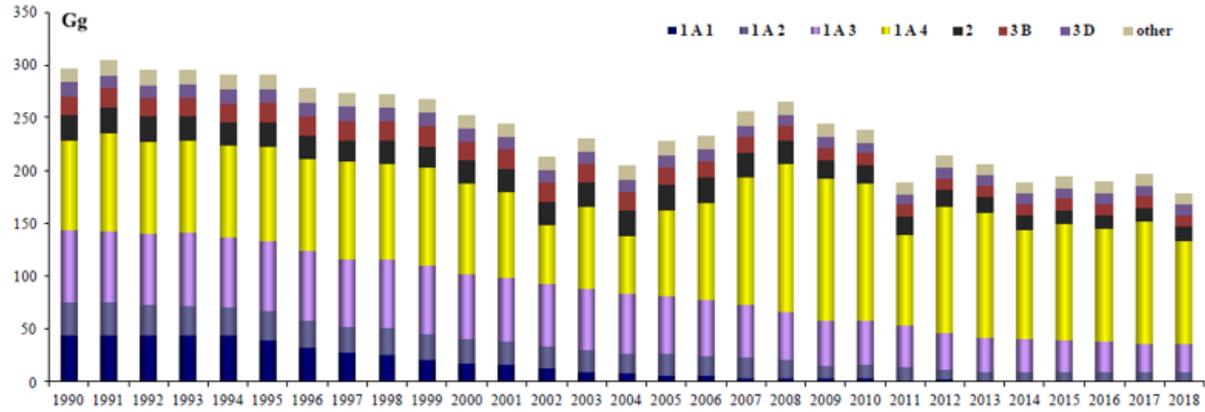


Figura 22 - Andamento emissioni PM10 e PM2.5 nel periodo 1995-2010 a scala regionale, articolate per sorgente emissiva



PM2.5

SECTOR	ACTIVITY DATA	SOURCE
1 Energy		
1A1 Energy Industries	Fuel use	Energy Balance - Ministry of Economic Development Major national electricity producers European Emissions Trading Scheme
1A2 Manufacturing Industries and Construction	Fuel use	Energy Balance - Ministry of Economic Development Major National Industry Corporation European Emissions Trading Scheme
1A3 Transport	Fuel use Number of vehicles Aircraft landing and take-off cycles and maritime activities	Energy Balance - Ministry of Economic Development Statistical Yearbooks - National Statistical System Statistical Yearbooks - Ministry of Transportation Statistical Yearbooks - Italian Civil Aviation Authority (ENAC) Maritime and Airport local authorities
1A4 Residential-public-commercial sector	Fuel use	Energy Balance - Ministry of Economic Development
2 Industrial Processes	Production data	National Statistical Yearbooks- National Institute of Statistics International Statistical Yearbooks-UN European Emissions Trading Scheme European Pollutant Release and Transfer Register Sectoral Industrial Associations
3 Agriculture	Agricultural surfaces Production data Number of animals Fertilizer consumption	Agriculture Statistical Yearbooks - National Institute of Statistics Sectoral Agriculture Associations

Figura 23 - Andamento emissioni PM10 e PM2.5 nel periodo 1990-2018 a scala nazionale, articolate per sorgente emissiva

Relativamente alle emissioni di gas serra, di seguito si riportano i grafici degli andamenti delle emissioni dei gas climalteranti: metano (CH4), protossido di azoto (N2O) ed anidride carbonica (CO2) sia singolarmente sia espresse come CO2equivalente¹¹.

Le emissioni di CO2eq nel 2010 sono diminuite di circa il 35% rispetto a quelle del 1995; tuttavia, i grafici, che mostrano un deciso e continuo calo delle emissioni di CO2eq sino al 2005, evidenziano una successiva inversione di tendenza con un incremento complessivo delle emissioni di gas ad effetto serra nel 2010 pari a circa +10% rispetto ai valori registrati nel 2005; se le emissioni riconducibili al comparto industriale diminuiscono di ben il 90% nel 2010 rispetto a quelle registrate nel 1995, le emissioni dovute al comparto dei trasporti ed in subordine quelle riconducibili al riscaldamento domestico subiscono, nel medesimo periodo, un incremento rispettivamente pari a +17% e + 7%.

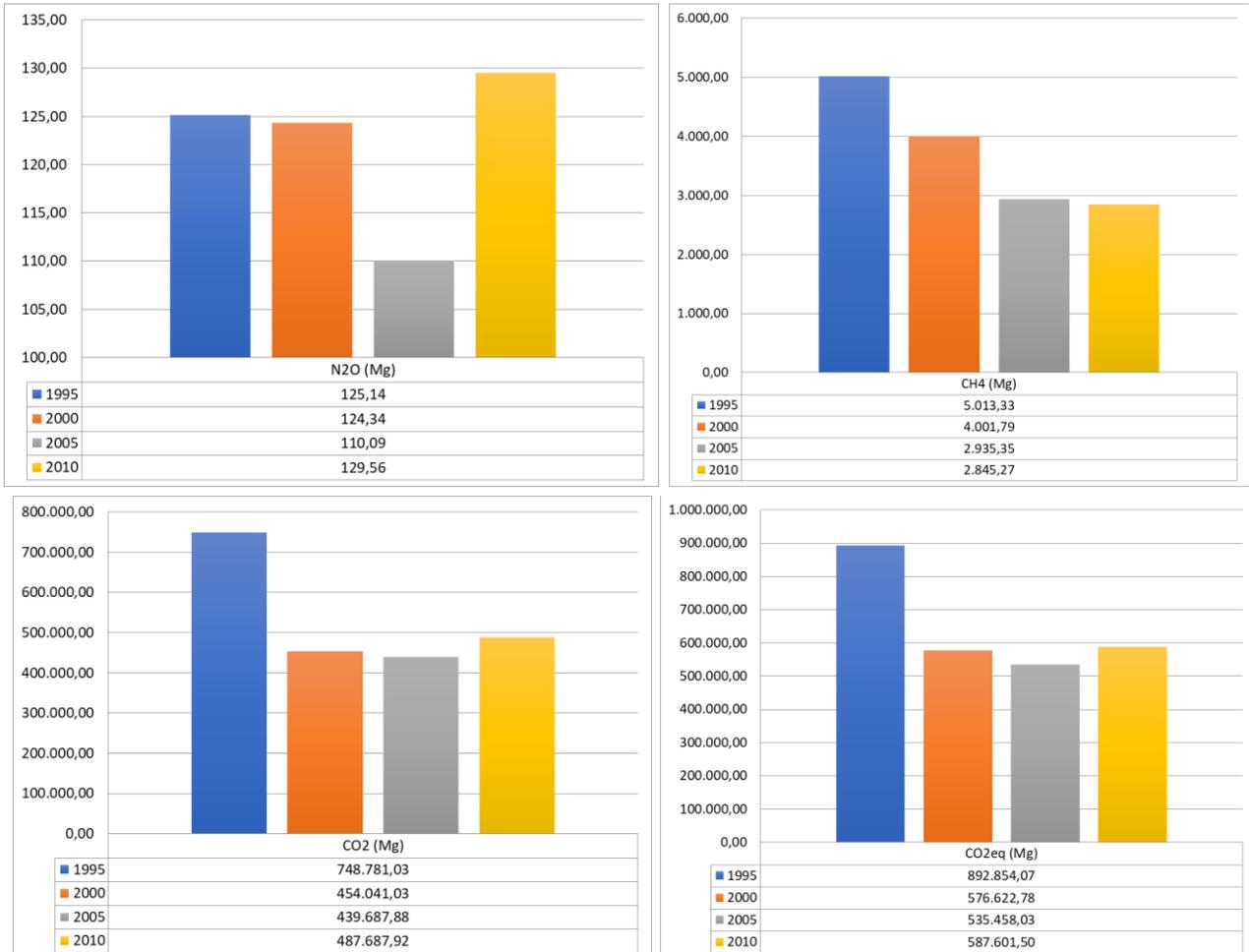


Figura 24 - Andamento emissioni gas serra [tonn/anno], anni 1995-2000-2005-2010

¹¹ Per il calcolo della CO2 equivalente è stata utilizzata la seguente formula: $CO2eq = CO2 + 21 \times CH4 + 310 \times N2O$.

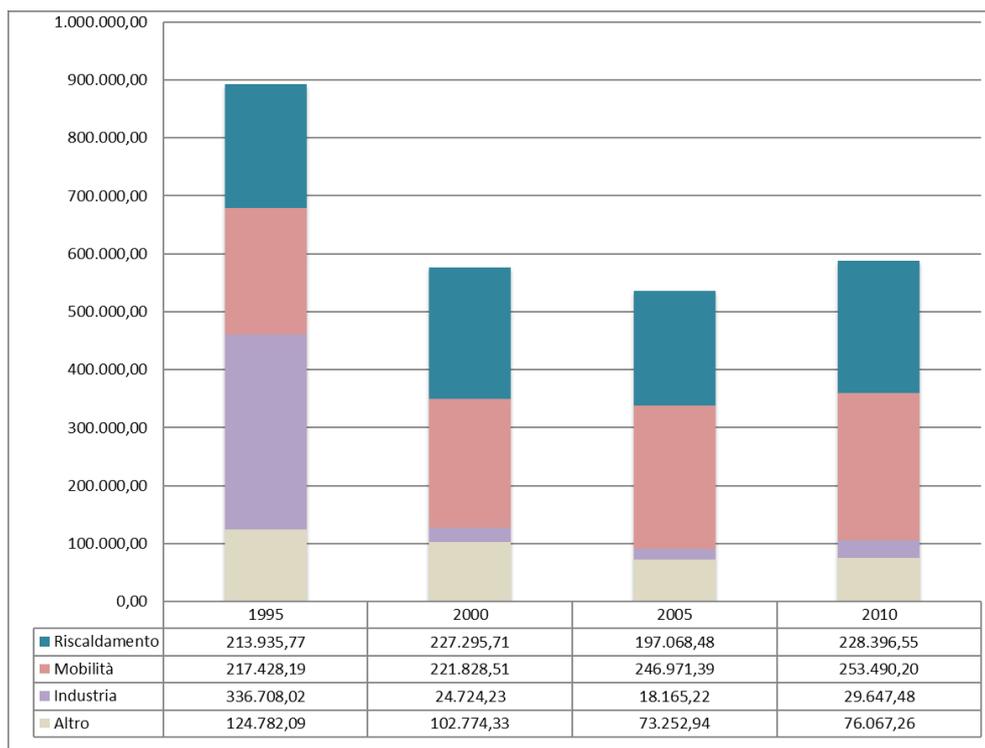


Figura 25 - Andamento emissioni CO2eq [tonn/anno] per fonte, anni 1995-2000-2005-2010

In ultima analisi, i seguenti grafici e tabelle forniscono una fotografia al 2010, anno in cui è disponibile l'ultimo aggiornamento dell'inventario regionale, in termini di emissioni sia per il comparto in esame nel suo complesso sia per ciascun comune in esso compreso. In particolare, dalla Figura 26 si osserva come, per quasi tutti gli inquinanti considerati fatti salvi gli SOX ed i COVNM, le sorgenti che maggiormente contribuiscono al carico emissivo registrato nel territorio indagato siano il riscaldamento domestico ed in subordine il trasporto stradale; quest'ultimo pesa maggiormente nei comuni di Siena e Monteriggioni (cfr. Tabella 9). I dati riportati nella Tabella 10, evidenziano come i comuni Siena e Monteriggioni siano anche quelli in cui si rileva il maggior carico emissivo in rapporto alla relativa superficie territoriale.

Id	CO (tonn/anno)	SOX (tonn/anno)	COVNM (tonn/anno)	NOX (tonn/anno)	PM10 (tonn/anno)	PM2,5 (tonn/anno)	CO2eq (tonn/anno)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2.113,19	12,96	279,26	148,04	374,16	365,14	228.396,55
3	46,15	37,04	1,49	48,94	0,34	0,34	29.489,64
4	0,00	0,00	34,81	0,00	59,28	25,73	157,84
5	0,00	0,00	55,61	0,00	0,00	0,00	8.618,82
6	0,00	0,00	1.127,18	0,00	0,00	0,00	0,00
7	2.911,73	1,23	616,31	891,60	76,80	65,40	198.566,01
8	169,65	1,54	54,27	562,05	26,45	26,36	54.924,20
9	0,14	0,09	11,13	0,65	0,03	0,03	28.648,74
10	0,12	0,00	71,51	0,01	57,77	6,33	38.782,25
11	1,07	0,01	314,18	0,03	0,13	0,13	17,45
Totale	5.242,04	52,88	2.565,75	1.651,32	594,96	489,43	587.601,50

- 01 Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche
- 02 Impianti di combustione non industriali
- 03 Impianti di combustione industriale e processi con combustione
- 04 Processi produttivi
- 05 Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica
- 06 Uso di solventi

- 07 Trasporti stradali
- 08 Altre sorgenti mobili e macchine
- 09 Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10 Agricoltura
- 11 Altre sorgenti/Natura

Tabella 8 - Quantità assolute delle sostanze inquinanti emesse nel comparto territoriale in esame comprensivo del Comune di Siena e dei comuni limitrofi (Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia e Sovicille), suddivise per sorgenti emissive

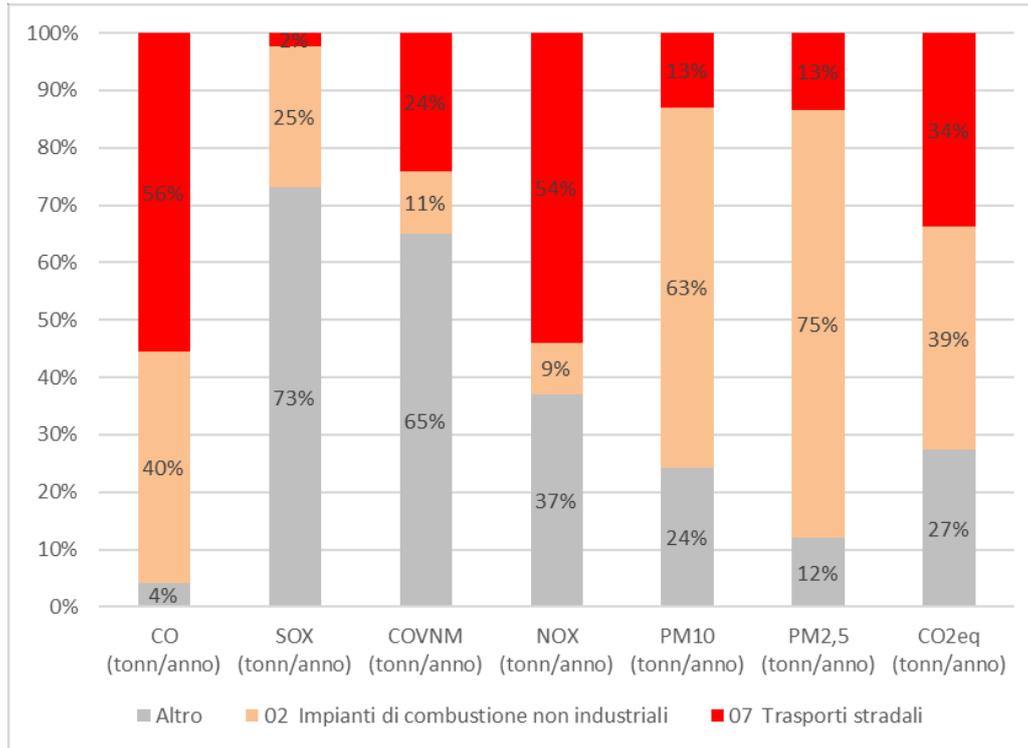


Figura 26 - Contributi percentuali delle sorgenti emittive per ciascun inquinante emesso nel comparto territoriale in esame (fonti raggruppate in "02 Impianti di combustione non industriali", "07 Trasporti stradali" ed "altro")

COMUNE	CO	SOX	COVNM	NOX	PM10	PM2,5	CO2eq
Asciano	27,1%	0,2%	15,4%	23,0%	3,8%	4,3%	12,6%
Castelnuovo Berardenga	39,7%	3,2%	18,7%	45,5%	9,2%	8,9%	27,6%
Monteriggioni	80,0%	14,0%	28,7%	77,7%	23,4%	25,7%	62,1%
Monteroni d'Arbia	36,3%	5,6%	21,5%	35,0%	7,6%	7,6%	25,8%
Siena	62,8%	7,5%	29,6%	60,8%	20,9%	21,0%	35,6%
Sovicille	32,9%	4,9%	15,1%	48,2%	7,3%	7,2%	25,0%

Tabella 9 – Incidenza emissioni da trasporto stradale rispetto a quelle complessive stimate per ciascun comune considerato [%] (per ciascun inquinante, in rosso sono evidenziati i due valori maggiori)

COMUNE	CO	SOX	COVNM	NOX	PM10	PM2,5	CO2eq
Asciano	2,30	0,17	1,21	0,97	0,54	0,40	0,39
Castelnuovo Berardenga	2,88	0,02	1,60	0,83	0,38	0,33	0,31
Monteriggioni	13,46	0,03	3,76	3,38	0,83	0,65	0,94
Monteroni d'Arbia	5,36	0,02	2,27	1,85	0,76	0,65	0,56
Siena	14,96	0,06	8,79	5,28	1,40	1,18	2,01
Sovicille	3,86	0,01	2,53	0,95	0,57	0,49	0,40

Superficie Comune di Asciano: 215,6 kmq
 Superficie Comune di Castelnuovo Berardenga: 177,1 kmq
 Superficie Comune di Monteriggioni: 99,5 kmq
 Superficie Comune di Monteroni d'Arbia: 105,8 kmq
 Superficie Comune di Siena: 118,6 kmq
 Superficie Comune di Sovicille: 143,7 kmq
 Superficie comparto territoriale totale: 860,3 kmq

Tabella 10 - Sostanze inquinanti emesse espresse in tonni/kmq, suddivise per comune

4.1 Modellazione delle emissioni

4.1.1 Emissioni da traffico stradale

La stima delle emissioni inquinanti da traffico stradale è oggetto di una metodologia ufficiale europea che mantiene aggiornate, sulla base delle nuove informazioni messe a disposizione dalla ricerca, le indicazioni per la stima delle emissioni a partire dai fattori d'emissione ("*Emission Factors*" = EF, valori di emissione per unità di percorrenza), relativi ai singoli veicoli appartenenti a categorie codificate.

Tale metodologia è implementata in un programma informatico, denominato COPERT 4¹², concepito per calcolare le emissioni da traffico aggregate a livello nazionale. Lo sviluppo di COPERT (*COmputer Programme to calculate Emissions from Road Traffic*) è coordinato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), nell'ambito delle attività del Centro Tematico Europeo sull'Atmosfera e sul Cambiamento Climatico (ETC-ACC).

Sulla base della metodologia COPERT e per le polveri la metodologia IASA, è stato sviluppato da ARIANET S.r.l. un programma di calcolo delle emissioni inquinanti da traffico stradale denominato TREFICTM (*TRaffic Emission Factor Improved Calculation*). TREFIC prevede, per molti degli inquinanti atmosferici tipici del traffico (NO_x, N₂O, SO_x, VOC, CH₄, CO, CO₂, NH₃, particolato, metalli pesanti, diossine e furani), la valutazione degli EF in termini di massa d'inquinante emessa per unità di percorrenza (g/km). Tali coefficienti dipendono:

- dal tipo di carburante/alimentazione (benzina con o senza piombo, gasolio, gpl ,elettricità);
- dal tipo di veicolo (motociclo, autovettura, veicolo commerciale leggero o pesante, autobus);
- dalla velocità media di percorrenza o dal tipo di strada percorsa (urbana, extraurbana, autostrada);
- dalla cilindrata del motore per i veicoli passeggeri e dalla portata nel caso di veicoli commerciali;
- dall'età del veicolo, o più precisamente dall'anno di immatricolazione e dal chilometraggio complessivo.

L'età del veicolo permette di risalire alla tecnologia costruttiva, normata dalle varie direttive che in ambito europeo hanno nel tempo regolamentato le massime emissioni dei nuovi motori prodotti. Tale informazione consente anche di legare il fattore d'emissione allo stato di efficienza e di manutenzione del veicolo stesso. Tra le categorie di veicoli contemplate nel progetto COPERT, alcune riguardano tecnologie costruttive normate da particolari legislazioni nazionali non vigenti nel nostro paese. La distinta delle categorie di veicoli COPERT è presentata nella tabella seguente.

¹² Da settembre 2017, COPERT 5.

Vehicle Type	Class	Legislation
Passenger Cars	Gasoline <1.4l 1.4 - 2.0l >2.0l	PRE ECE ECE 15/00-01 ECE 15/02 ECE 15/03 ECE 15/04 Improved Conventional Open Loop Euro 1 - 91/441/EEC Euro 2 - 94/12/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 - EC 715/2007 Euro 6 - EC 715/2007
	Diescl <2.0l >2.0l	Conventional Euro 1 - 91/441/EEC Euro 2 - 94/12/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 - EC 715/2007 Euro 6 - EC 715/2007
	LPG	Conventional Euro 1 - 91/441/EEC Euro 2 - 94/12/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005
	2 Stroke	Conventional
	Hybrids <1.6l	Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005
Vehicle Type	Class	Legislation
Mopeds	<50cm ³	Conventional 97/24/EC Stage I - Euro 1 97/24/EC Stage II - Euro 2 Euro 3 proposal
Motorcycles	2 Stroke >50cm ³	Conventional
	4 stroke 50 - 250cm ³	97/24/EC - Euro 1
	4 stroke 250 - 750cm ³	2002/51/EC Stage I - Euro 2
	4 stroke >750cm ³	2002/51/EC Stage II - Euro 3

Figura 27 - Classificazione dei veicoli secondo la metodologia COPERT (1/2).

Vehicle Type	Class	Legislation
Light Duty Vehicles	Gasoline <3.5t	Conventional Euro 1 - 93/59/EEC Euro 2 - 96/69/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 - EC 715/2007 Euro 6 - EC 715/2007
	Diesel <3.5t	Conventional Euro 1 - 93/59/EEC Euro 2 - 96/69/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 - EC 715/2007 Euro 6 - EC 715/2007
Heavy Duty Vehicles	Gasoline >3.5t	Conventional
	Rigid <=7.5t	Conventional Euro I - 91/542/EEC Stage I Euro II - 91/542/EEC Stage II Euro III - 1999/96/EC Stage I Euro IV - 1999/96/EC Stage II Euro V - 1999/96/EC Stage III Euro VI - No proposal yet
	Rigid 7.5-12t	
	Rigid 12-14t	
	Rigid 14-20t	
	Rigid 20-26t	
	Rigid 26-28t	
	Rigid 28-32t	
	Rigid >32t	
	Articulated 14-20t	
	Articulated 20-28t	
	Articulated 28-34t	
	Articulated 34-40t	
	Articulated 40-50t	
Articulated 50-60t		
Buses	Urban <=15t	Conventional Euro I - 91/542/EEC Stage I Euro II - 91/542/EEC Stage II Euro III - 1999/96/EC Stage I Euro IV - 1999/96/EC Stage II Euro V - 1999/96/EC Stage III Euro VI - No proposal yet
	Urban 15-18t	
	Urban >18t	
	Coaches standard <=18t	
	Coaches articulated >18t	
	CNG	
		Euro II - 91/542/EEC Stage II
Euro III - 1999/96/EC Stage I		
EEV - 1999/96/EC		

Figura 28 - Classificazione dei veicoli secondo la metodologia COPERT (2/2).

4.1.2 Dati caratteristici del traffico nelle simulazioni

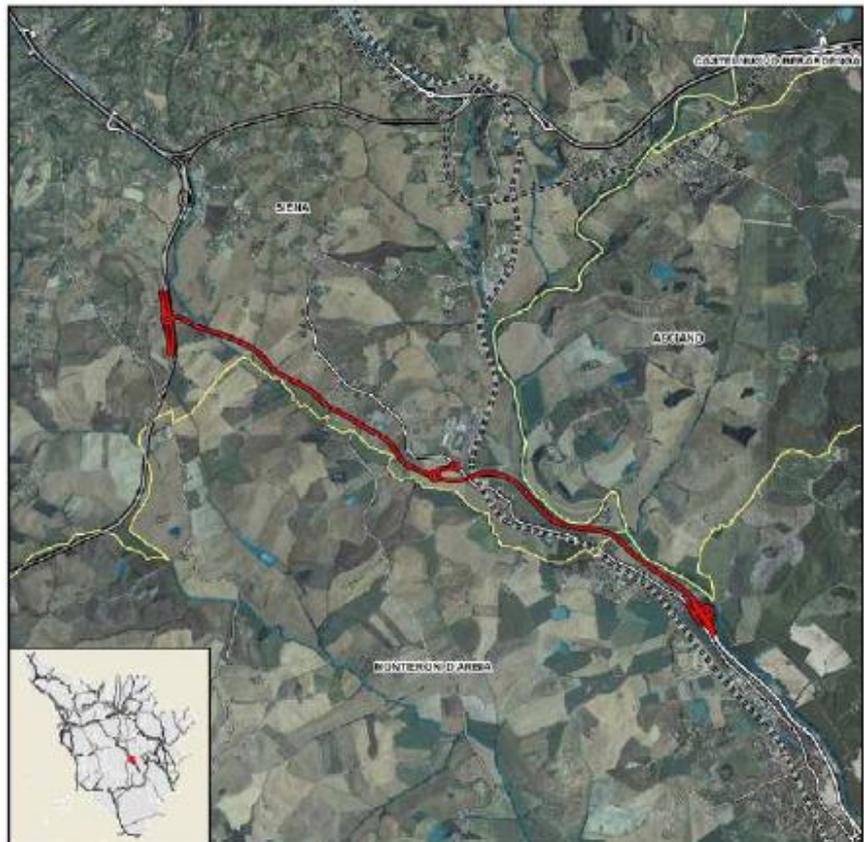
L'input quantitativo per TREFIC è il grafo modellistico dello scenario di interesse, che riporta flussi di veicoli leggeri e pesanti e velocità per ciascun arco stradale. Per "veicoli leggeri" sono intesi le autovetture, i veicoli commerciali leggeri ed i motocicli; per "veicoli pesanti", i veicoli commerciali pesanti e gli autobus. La definizione completa della rete stradale di interesse e dei relativi dati di traffico è quella effettuata mediante la modellistica di assegnazione dello studio di traffico al quale si rimanda per le specifiche.

I flussi di traffico considerati nelle simulazioni sono quelli relativi agli scenari di seguito descritti.

Stato di fatto (SDF), determinato dalla domanda di traffico ad oggi presente sulla rete infrastrutturale esistente, così come rilevata dalle indagini e ricostruita modellisticamente.

Alternativa "0", ovvero la non realizzazione dell'intervento. Al fine di valutare l'entità dei flussi che interesserà la rete stradale dell'area di studio è stato considerato come orizzonte temporale di riferimento l'anno 2025, in cui si prevede l'entrata in esercizio dell'infrastruttura di progetto. Per poter determinare l'entità del tasso di crescita della domanda di trasporto relativa a tale orizzonte temporale si è fatto riferimento a quanto contenuto nel Piano Regionale Integrato Infrastrutture e Mobilità (PRIIM) di Regione Toscana del 2014; questo documento, per poter effettuare delle previsioni della domanda di trasporto, si sono prese in considerazione le più recenti proiezioni del Fondo Monetario Internazionale relative all'economia italiana che prevedono un tasso di crescita pari a circa l'1% a partire dal 2015: pertanto per il 2025, è previsto un incremento di circa il 5% della domanda di traffico.

Stato di progetto (SDP), determinato dalla domanda attesa nell'anno previsto di entrata in esercizio dell'opera in esame (2025), sulla rete infrastrutturale di progetto; tale scenario comprende altresì l'intervento programmatico che interessa la SR2 Cassia, localizzata a sud dello svincolo di Cerchiaia, che, data la sua vicinanza all'area di studio, potrebbe apportare modifiche nella scelta di percorso dei flussi veicolari.



Le simulazioni trasportistiche hanno riguardato le ore di punta serali di un giorno feriale, il venerdì, e di un giorno festivo, la domenica; in questa sede, sono stati utilizzati cautelativamente i dati relativi al venerdì in quanto è risultato essere il giorno peggiore in termini di carico veicolare (per maggiori dettagli si rimanda all'allegato T00EG00GENRE03 – Relazione trasportistica). A ciascun arco del grafo stradale su cui sono state condotte le analisi volte a stimare le emissioni inquinanti da traffico, sono stati associati i dati rappresentativi sia dei flussi veicolari circolanti espressi in Traffico Giornaliero Medio (TGM), distinti in veicoli leggeri e commerciali pesanti, sia della velocità di percorrenza. Le velocità di percorrenza di ogni arco sono state impostate all'80% delle seguenti velocità di libero deflusso:

- 90 km/h per le extraurbane principali;
- 70 km/h per la extraurbane secondarie;
- 50 km/h per la viabilità urbana.

Nel seguito, si riportano i flussi veicolari (in TGM) utilizzati in ingresso al modello di simulazione delle emissioni per la definizione degli scenari ante operam, alternativa 0 e post operam.

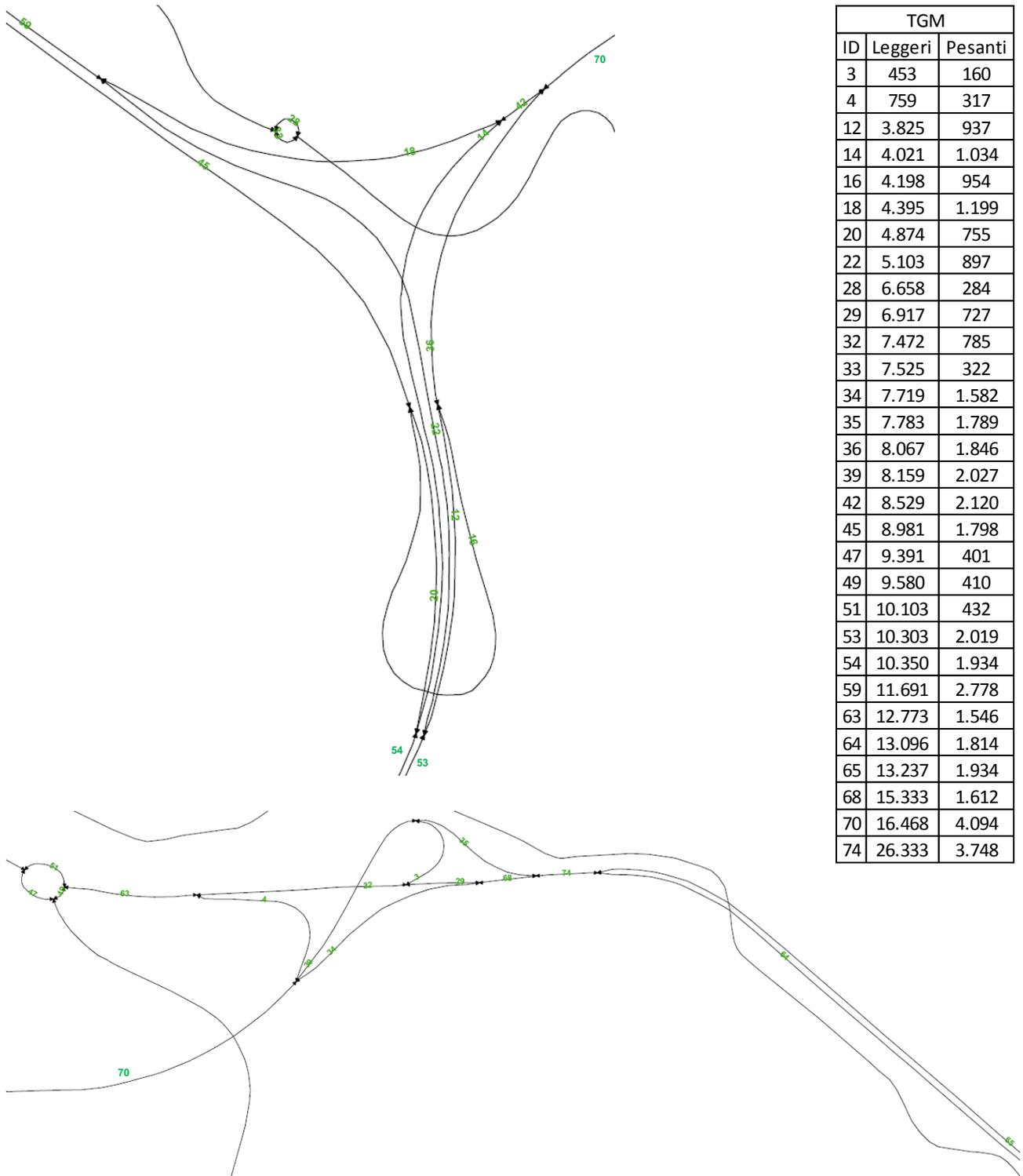


Figura 29 - Assi viari e flussi di traffico Stato di fatto

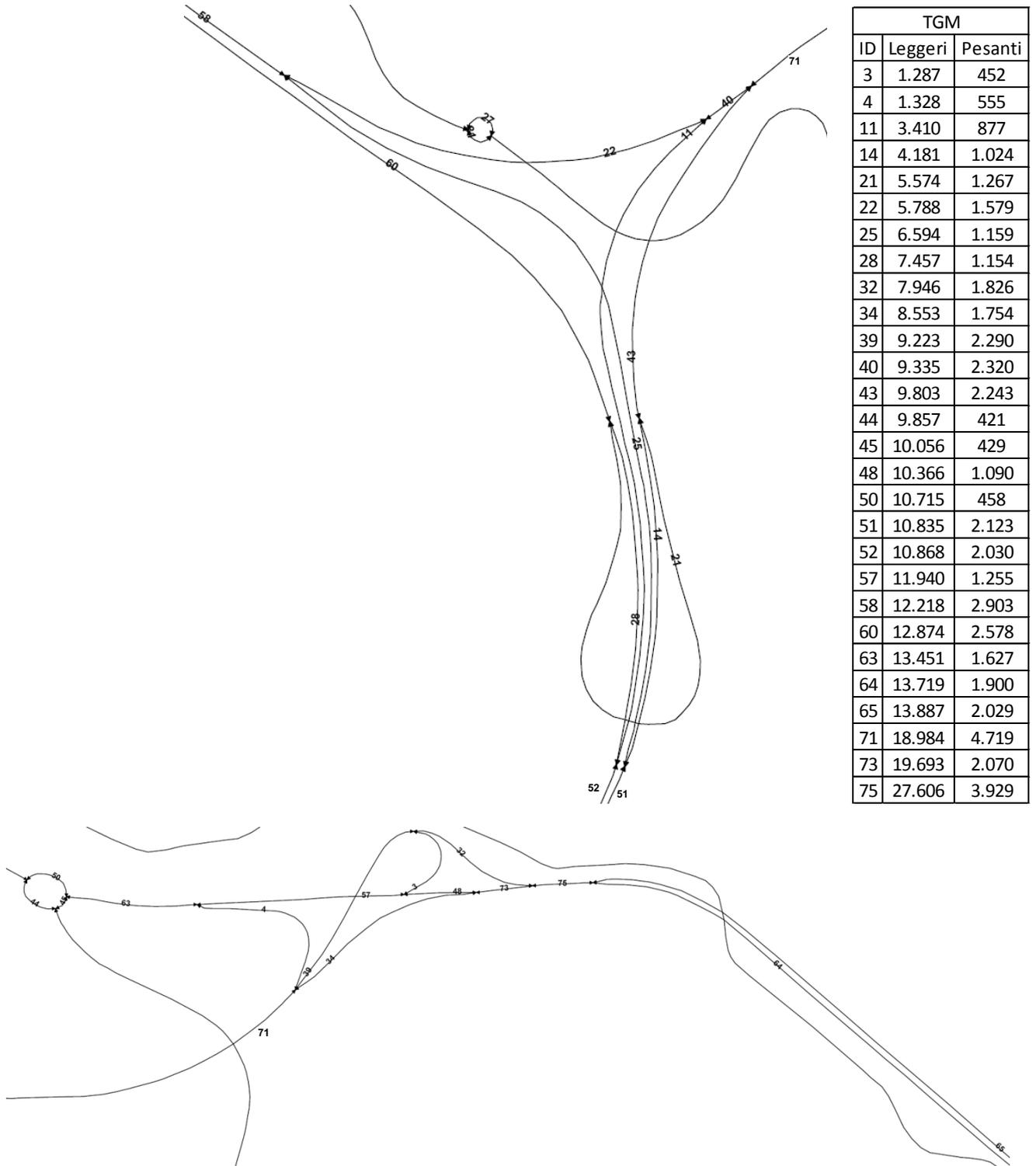


Figura 30 - Assi viari e flussi di traffico Alternativa 0

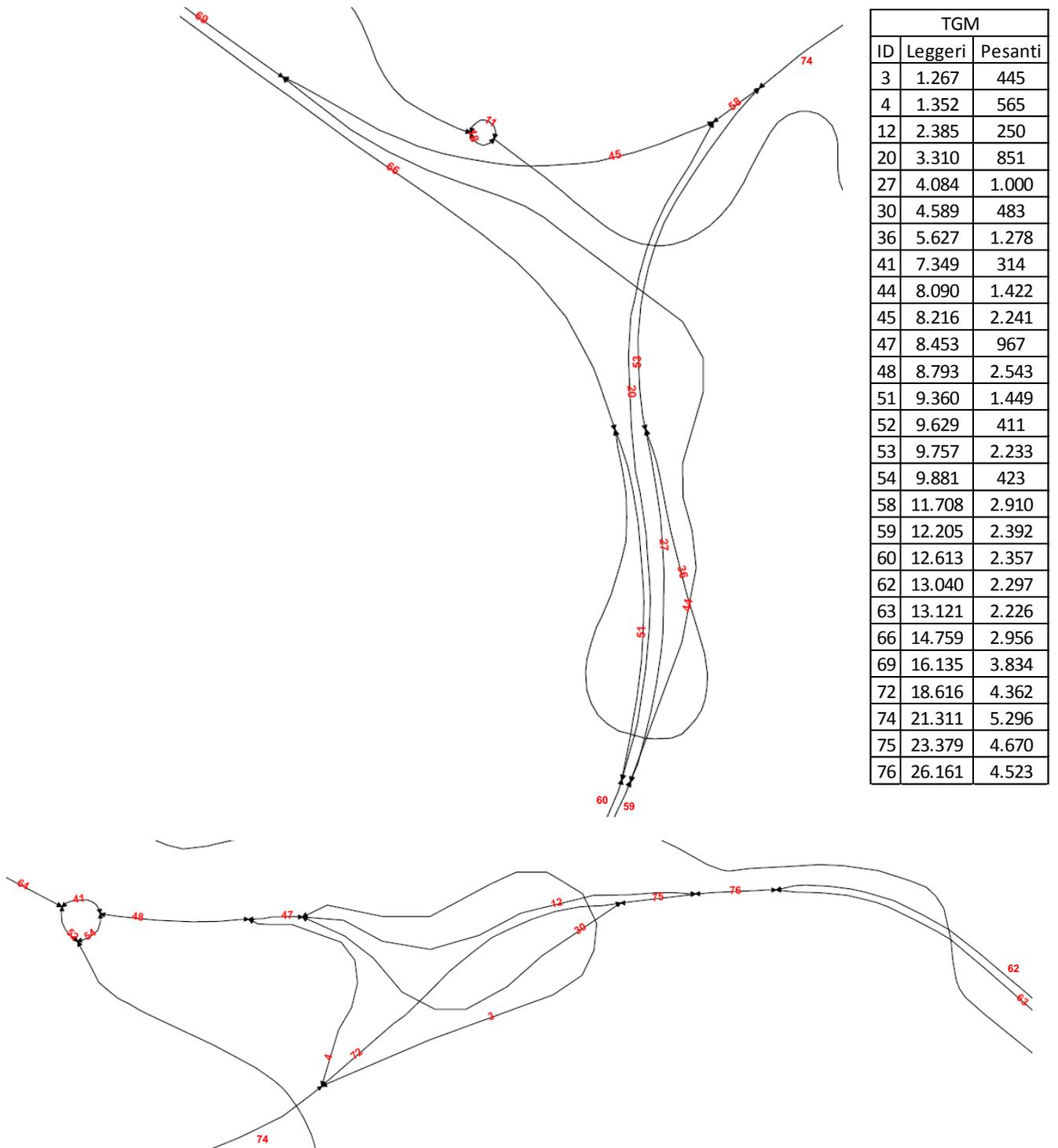


Figura 31 – Assi viari e flussi di traffico Stato di progetto

4.1.3 Il parco veicolare

Di seguito si riportano i dati rappresentativi del parco circolante nell'anno 2019, disponibili sul sito dell'Automobile Club Italiano (www.aci.it), relativi al numero di veicoli immatricolati in Provincia di Siena classificati per settore (autoveicoli, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti, ciclomotori e motocicli), per alimentazione (diesel e benzina), per cilindrata, per peso (nel caso dei veicoli merci) e per categoria legislativa (EURO).

ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
BENZINA	Fino a 1400	9.735	1.804	8.197	8.933	17.792	8.900	13.096		69	68.526
	1401 - 2000	2.315	917	2.072	1.227	2.358	851	1.090		17	10.847
	Oltre 2000	420	108	167	163	287	86	100		3	1.334
	Non definito	10									10
BENZINA Totale		12.480	2.829	10.436	10.323	20.437	9.837	14.286		89	80.717
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 1400	270	38	168	197	2.457	1.742	2.438			7.310
	1401 - 2000	405	154	270	149	640	444	363		2	2.427
	Oltre 2000	33	17	22	23	93	6	5			199
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		708	209	460	369	3.190	2.192	2.806		2	9.936
BENZINA E METANO	Fino a 1400	133	25	140	91	1.115	2.068	2.076			5.648
	1401 - 2000	92	35	83	77	336	63	142			828
	Oltre 2000	5	3	3	1	16	3				31
BENZINA E METANO Totale		230	63	226	169	1.467	2.134	2.218			6.507
GASOLIO	Fino a 1400	112	6	18	1.732	7.922	5.411	2.738		1	17.940
	1401 - 2000	677	241	2.096	7.767	13.868	16.299	21.559		2	62.509
	Oltre 2000	674	374	1.514	2.366	2.597	1.736	1.713			10.974
GASOLIO Totale		1.463	621	3.628	11.865	24.387	23.446	26.010		3	91.423
ELETTRICITA'	Non contemplato								42		42
ELETTRICITA' Totale									42		42
IBRIDO BENZINA	Fino a 1400					3	12	125			140
	1401 - 2000					15	161	701			877
	Oltre 2000					13	7	140			160
IBRIDO BENZINA Totale						31	180	966			1.177
IBRIDO GASOLIO	1401 - 2000						9	71			80
	Oltre 2000						2	20			22
IBRIDO GASOLIO Totale							11	91			102
ALTRE	Fino a 1400	7									7
ALTRE Totale		7									7
NON DEFINITO	Fino a 1400	3								2	5
	Non definito	2								2	4
NON DEFINITO Totale		5								4	9
Totale		14.893	3.722	14.750	22.726	49.512	37.800	46.377	42	98	189.920

Tabella 11 - Autovetture distinte per provincia alimentazione e fascia di cilindrata. Anno 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 3,5	187	87	264	292	283	103	172		5	1.393
	Non definito	21	1								22
BENZINA Totale		208	88	264	292	283	103	172		5	1.415
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5	48	20	10	22	249	62	62			473
	Non definito	6	2								8
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		54	22	10	22	249	62	62			481
BENZINA E METANO	Fino a 3,5	7	4	6	14	123	192	117			463
BENZINA E METANO Totale		7	4	6	14	123	192	117			463
GASOLIO	Fino a 3,5	1.962	1.231	2.921	4.930	4.445	2.902	2.896		3	21.290
	Non definito	191	19	2	4		1	7			224
GASOLIO Totale		2.153	1.250	2.923	4.934	4.445	2.903	2.903		3	21.514
ELETTRICITA'	Non contemplato								27		27
ELETTRICITA' Totale									27		27
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5	1						2			3
IBRIDO BENZINA Totale		1						2			3
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5							4			4
IBRIDO GASOLIO Totale								4			4
Totale		2.423	1.364	3.203	5.262	5.100	3.260	3.260	27	8	23.907

Tabella 12 - Veicoli industriali leggeri distinti per provincia alimentazione e fascia di cilindrata. Anno 2019

ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non definito	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5	4		1	1	1			1	8
BENZINA Totale		4		1	1	1			1	8
BENZINA E GAS LIQUIDO	Oltre 3,5	5							1	6
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		5							1	6
BENZINA E METANO	Oltre 3,5								1	1
BENZINA E METANO Totale									1	1
GASOLIO	3,6 - 7,5	288	52	101	184	79	65	34	2	805
	7,6 - 12	194	54	99	117	20	48	23		555
	12,1 - 14	46	4	9	13	1	13	5		91
	14,1 - 20	129	26	91	102	14	81	37		480
	20,1 - 26	169	46	114	167	16	144	85	1	742
	26,1 - 28	1			1			3		5
	28,1 - 32	4	5	24	50	8	21	18		130
	Oltre 32	3	1	1	2		1			8
GASOLIO Totale		834	188	439	636	138	373	205	3	2.816
Totale		843	188	440	637	139	373	207	4	2.831

Tabella 13 - Veicoli industriali pesanti distinti per provincia alimentazione e tipologia. Anno 2019

ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
BENZINA E METANO	14,1 - 20							2			2
BENZINA E METANO Totale								2			2
GASOLIO	Fino a 14	6	1		2						9
	14,1 - 20	6	9	39	45	9	89	74			271
	20,1 - 28	2		7	7	2	2	4			24
	Non definito	9		1	1	1		2		1	15
GASOLIO Totale		23	10	47	55	12	91	80		1	319
Totale		23	10	47	55	12	91	82		1	321

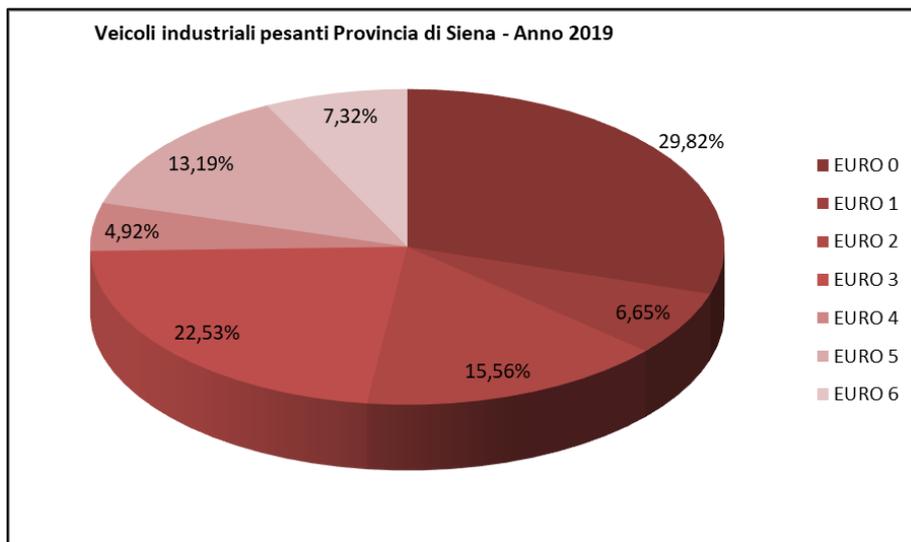
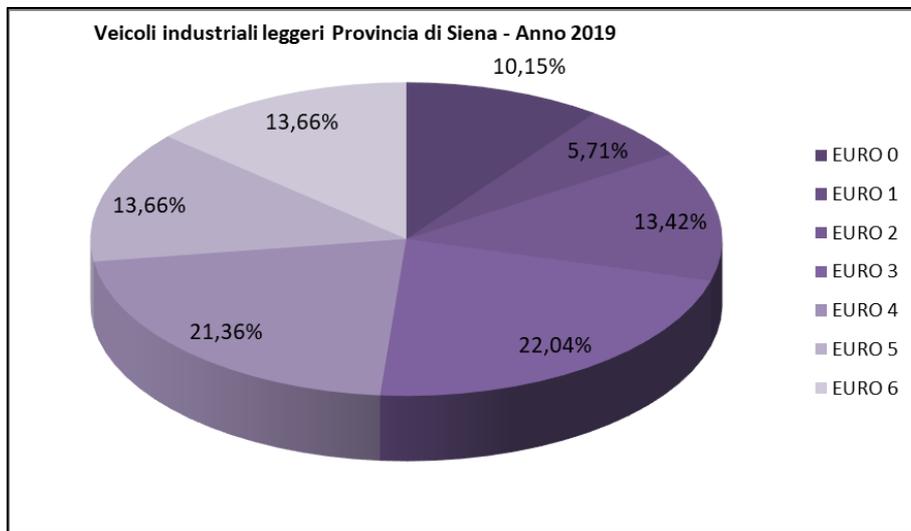
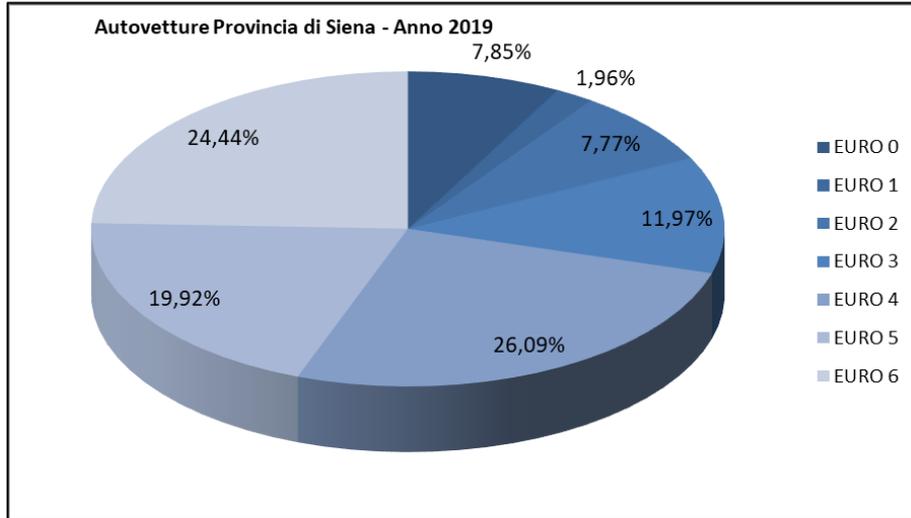
Tabella 14 - Trattori stradali distinti per provincia alimentazione e tipologia. Anno 2019

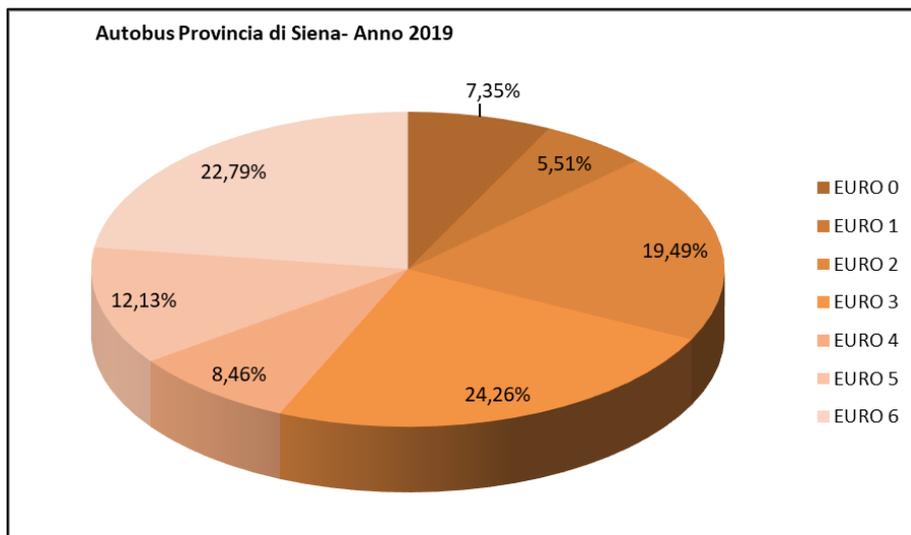
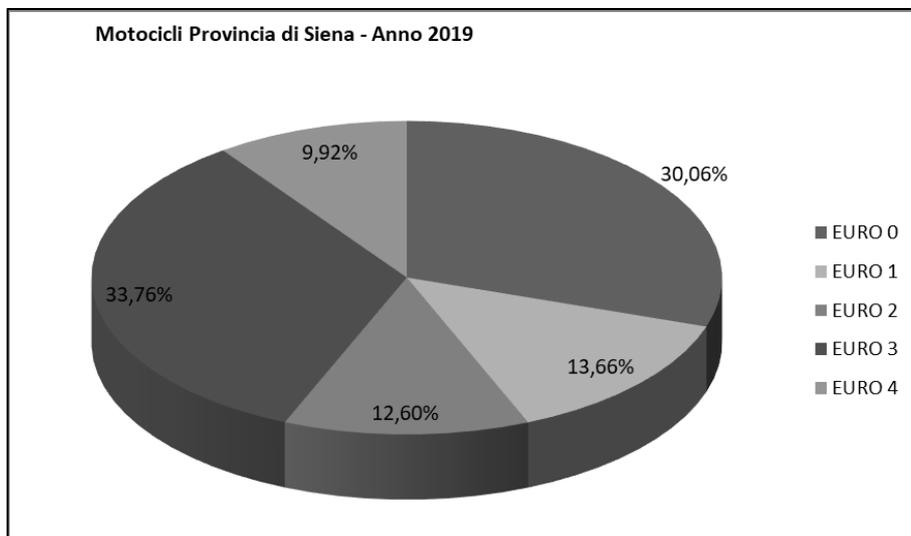
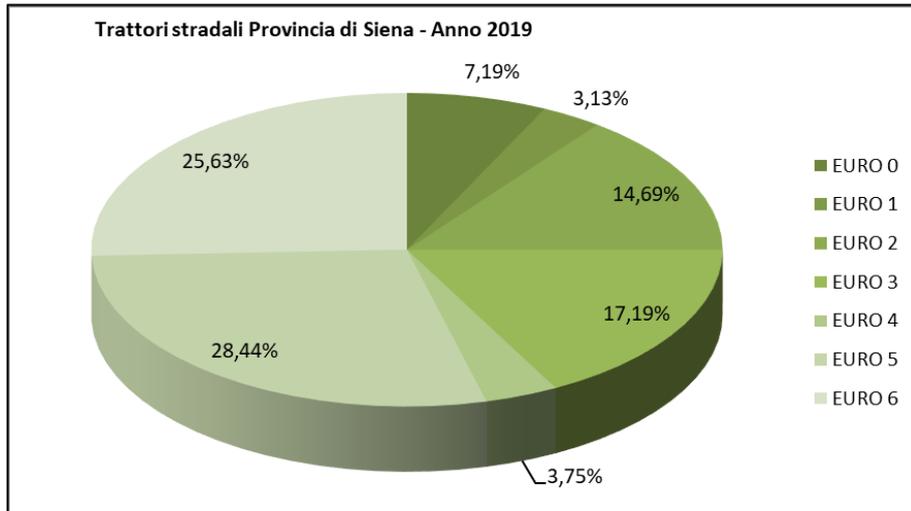
FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	Non contemplato	Non definito	TOTALE
Fino a 125	4.606	1.398	763	3.442	1.175		20	11.404
126 - 250	2.521	1.769	1.573	3.544	555		4	9.966
251 - 750	3.823	1.365	1.946	4.188	1.448		1	12.771
Oltre 750	842	840	672	2.105	725			5.184
Non contemplato						7		7
Non definito	33						2	35
Totale	11.825	5.372	4.954	13.279	3.903	7	27	39.367

Tabella 15 - Motocicli distinti per provincia e fascia di cilindrata. Anno 2019

USO	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
Noleggio	5	2	13	17	8	14	39			98
Privato	15	10	21	38	11	10	22		2	129
Pubblico		2	18	11	4	9	1			45
Altri usi		1	1							2
Totale	20	15	53	66	23	33	62		2	274

Tabella 16 - Autobus distinti per provincia e uso. Anno 2019





4.1.4 Risultati della stima delle emissioni

Attraverso il modello TREFIC sono stati dunque simulati i tre scenari di riferimento al fine di effettuarne un confronto in termini di emissioni da traffico stradale; la figura seguente è rappresentativa del grafo stradale su cui sono state condotte le analisi.

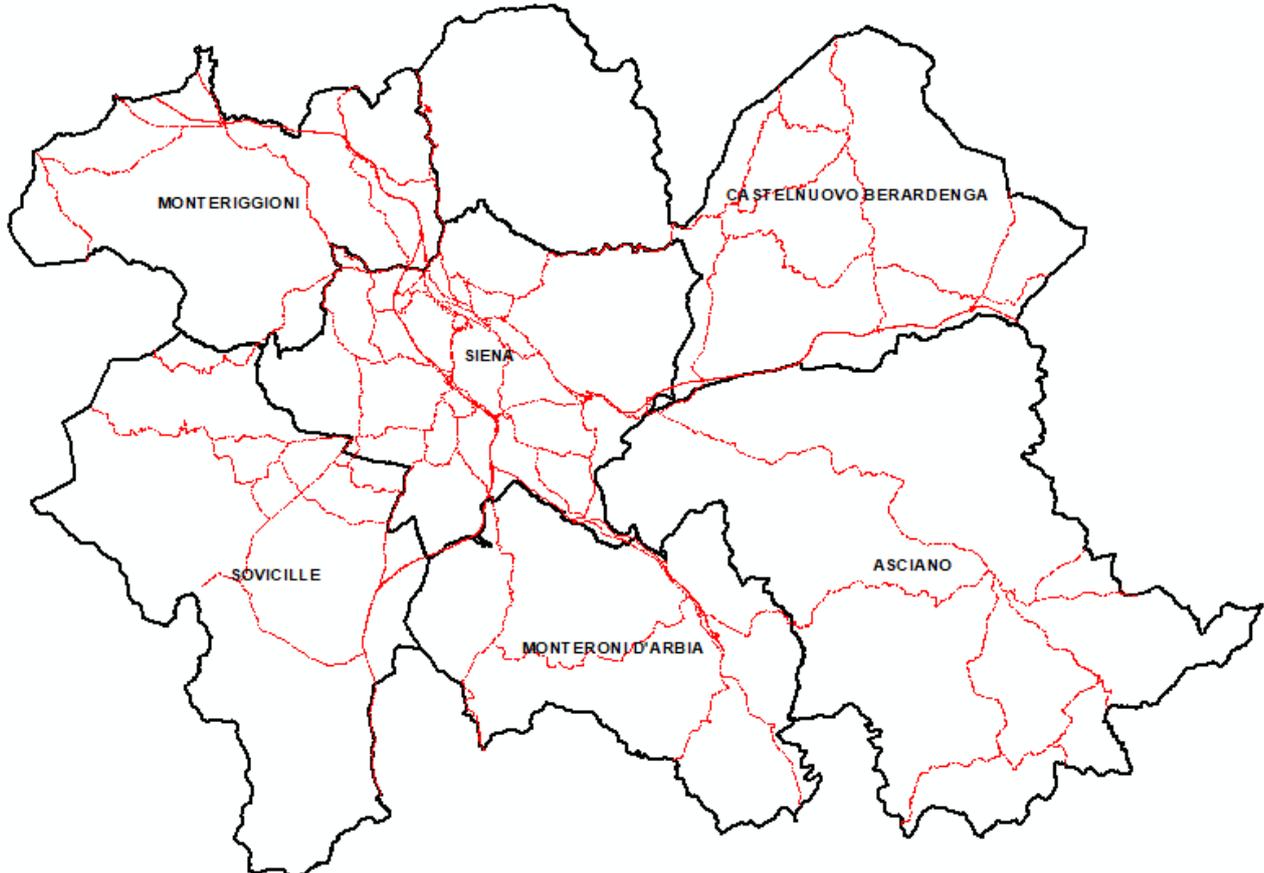


Figura 32 - Rete utilizzata nella modellazione per il calcolo delle emissioni da traffico

Si è proceduto innanzitutto ad effettuare il confronto tra le emissioni da traffico di cui allo scenario SDF e quelle stimate dall'inventario regionale al 2010 per l'intero ambito territoriale indagato; tale confronto evidenzia come, dal 2010 ad oggi, le emissioni di tutti gli inquinanti considerati siano sensibilmente diminuite, trend in linea, seppur con ordini di grandezza diversi, con quanto registrato a scala nazionale per cui sono disponibili i dati fino al 2018: CO -52%; COVNM -44%; NOX -32%; PM10 -38%; PM2,5 -44% (fonte: *Italian Emission Inventory 1990-2018, Informative Inventory Report 2020*; ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). Relativamente alla CO2eq si rivela invece un incremento di circa 8 punti percentuali a fronte di una riduzione di circa il 9% registrata a livello nazionale dal 2010 al 2018 (fonte: *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2018. National Inventory Report 2020* - ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

	CO (t/anno)	COVNM (t/anno)	NOX (t/anno)	PM10 (t/anno)	PM2,5 (t/anno)	CO2eq [t/anno]
IRSE 2010 "Trasporto stradale"	2.911,73	616,31	891,60	76,80	65,40	198.566,01
SDF TREFIC	806,16	150,93	814,85	52,51	38,88	215.081,00
SDF TREFIC vs IRSE 2010 "Trasporto stradale"	-72%	-76%	-9%	-32%	-41%	8%

Tabella 17 - Confronto emissioni da traffico scenario SDF con emissioni "Trasporto stradale" IRSE 2010

Le tabelle seguenti sono invece rappresentative del quadro sinottico delle risultanze delle simulazioni, segnatamente delle variazioni percentuali previste in termini di emissioni da traffico stradale, tra i tre scenari considerati; sono riportate le stime sia per l'intero comparto territoriale in esame sia per ciascun comune ad esso afferente. Rispetto allo scenario SDF, si prevede un incremento medio del carico emissivo, per l'intero ambito di analisi, di circa il 5,7% nello scenario rappresentativo della non realizzazione dell'intervento (alternativa 0) e di circa il 5,5% nello scenario di progetto che pertanto appare leggermente migliorativo. Si evidenzia come i maggiori incrementi rispetto allo scenario SDF siano da registrare per il Comune di Siena nel caso dello scenario di cui all'alternativa 0 e per il Comune di Monteroni d'Arbia nel caso dello scenario SDP.

	Ambito territoriale	CO (t/anno)	COVNM (t/anno)	NOX (t/anno)	PM10 (t/anno)	PM2,5 (t/anno)	CO2eq (t/anno)
SDF	Asciano	12,98	2,40	11,53	0,80	0,58	3.229,98
	Castelnuovo Berardenga	160,21	29,41	153,13	10,15	7,49	42.371,63
	Monteriggioni	148,34	27,15	145,47	9,50	7,04	40.082,30
	Monteroni d'Arbia	68,54	12,90	67,54	4,41	3,26	17.764,05
	Siena	343,86	65,53	363,43	22,93	17,01	92.316,66
	Sovicille	72,22	13,54	73,76	4,73	3,50	19.316,38
	Comparto territoriale totale	806,16	150,93	814,85	52,51	38,88	215.081,00

	Ambito territoriale	CO (t/anno)	COVNM (t/anno)	NOX (t/anno)	PM10 (t/anno)	PM2,5 (t/anno)	CO2eq (t/anno)
Alt. 0	Asciano	13,63	2,52	12,09	0,84	0,61	3.389,94
	Castelnuovo Berardenga	168,18	30,87	160,74	10,65	7,87	44.479,07
	Monteriggioni	155,88	28,53	152,87	9,98	7,40	42.121,09
	Monteroni d'Arbia	71,97	13,54	70,93	4,64	3,42	18.654,32
	Siena	365,43	69,75	388,53	24,44	18,14	98.310,51
	Sovicille	76,07	14,26	77,66	4,98	3,69	20.341,33
	Comparto territoriale totale	851,16	159,48	862,82	55,52	41,12	227.296,26

	Ambito territoriale	CO (t/anno)	COVNM (t/anno)	NOX (t/anno)	PM10 (t/anno)	PM2,5 (t/anno)	CO2eq (t/anno)
SDP	Asciano	13,46	2,49	11,93	0,82	0,60	3.346,34
	Castelnuovo Berardenga	167,82	30,81	160,31	10,62	7,85	44.363,94
	Monteriggioni	156,14	28,58	153,10	10,00	7,41	42.184,94
	Monteroni d'Arbia	82,41	15,22	74,52	5,10	3,74	20.817,56
	Siena	361,02	68,14	378,84	23,95	17,77	97.317,26
	Sovicille	76,94	14,14	72,61	4,84	3,57	20.135,23
	Comparto territoriale totale	857,79	159,37	851,30	55,34	40,94	228.165,26

Tabella 18 - Quantità assolute delle sostanze inquinanti in termini di emissioni da traffico stradale per i tre scenari considerati: SDF, Alt. 0 ed SDP (dati riferiti sia all'intero comparto territoriale in esame sia a ciascun comune ad esso afferente)

	Ambito territoriale	CO (t/anno)	COVNM (t/anno)	NOX (t/anno)	PM10 (t/anno)	PM2,5 (t/anno)	CO2eq [t/anno]
Alt. 0 vs SDF	Asciano	5,0%	5,0%	4,9%	4,9%	4,9%	5,0%
	Castelnuovo Berardenga	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
	Monteriggioni	5,1%	5,1%	5,1%	5,1%	5,1%	5,1%
	Monteroni d'Arbia	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
	Siena	6,3%	6,4%	6,9%	6,6%	6,6%	6,5%
	Sovicille	5,3%	5,3%	5,3%	5,3%	5,3%	5,3%
	Comparto territoriale totale	5,6%	5,7%	5,9%	5,7%	5,8%	5,7%

	Ambito territoriale	CO (t/anno)	COVNM (t/anno)	NOX (t/anno)	PM10 (t/anno)	PM2,5 (t/anno)	CO2eq [t/anno]
SDP vs SDF	Asciano	3,6%	3,6%	3,5%	3,6%	3,6%	3,6%
	Castelnuovo Berardenga	4,8%	4,8%	4,7%	4,7%	4,7%	4,7%
	Monteriggioni	5,3%	5,3%	5,2%	5,3%	5,2%	5,2%
	Monteroni d'Arbia	20,2%	18,0%	10,3%	15,4%	14,8%	17,2%
	Siena	5,0%	4,0%	4,2%	4,5%	4,5%	5,4%
	Sovicille	6,5%	4,5%	-1,6%	2,5%	2,0%	4,2%
	Comparto territoriale totale	6,4%	5,6%	4,5%	5,4%	5,3%	6,1%

	Ambito territoriale	CO (t/anno)	COVNM (t/anno)	NOX (t/anno)	PM10 (t/anno)	PM2,5 (t/anno)	CO2eq [t/anno]
SDP vs Alt. 0	Asciano	-1,3%	-1,3%	-1,3%	-1,3%	-1,3%	-1,3%
	Castelnuovo Berardenga	-0,2%	-0,2%	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,3%
	Monteriggioni	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
	Monteroni d'Arbia	14,5%	12,4%	5,1%	9,9%	9,3%	11,6%
	Siena	-1,2%	-2,3%	-2,5%	-2,0%	-2,0%	-1,0%
	Sovicille	1,1%	-0,8%	-6,5%	-2,7%	-3,1%	-1,0%
	Comparto territoriale totale	0,8%	-0,1%	-1,3%	-0,3%	-0,4%	0,4%

Tabella 19 – Variazione percentuale delle sostanze inquinanti in termini di emissioni da traffico stradale tra gli scenari considerati: Alt. 0 vs SDF, SDP vs SDF ed SDP vs Alt. 0 (confronti effettuati sia per l'intero comparto territoriale in esame sia per ciascun comune ad esso afferente)

5 IL QUADRO DELLE CONCENTRAZIONI

5.1 Rete di monitoraggio regionale della qualità dell'aria

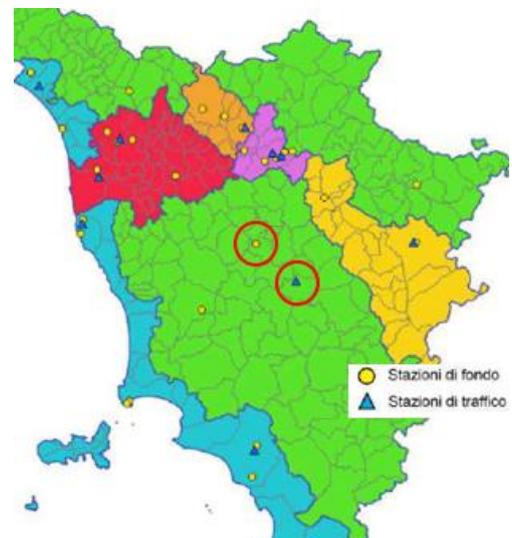
La struttura delle Rete Regionale di rilevamento della Qualità dell'Aria della Toscana è stata modificata negli anni a partire da quella descritta dall'allegato III della d.g.r.t. 1025/2010, fino alla struttura attualmente ufficiale che è quella dell'allegato C della Delibera n. 964 del 12 ottobre 2015. Dal 2017 sono state attivate tutte le 37 stazioni previste dalla d.g.r.t. n. 964/2015, come riportato nella figura seguente (fonte: Relazione annuale sullo stato della qualità dell'aria nella regione Toscana. Anno 2019 - Centro Regionale Tutela Qualità dell'Aria, ARPAT Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana).

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 e H ₂ S	CO	Benzene	IPA	As	Ni	Cd	Pb	O ₃	Class. Zona Ozono	Zonizzazione territorio Regione Toscana O ₃
Agglomerato Firenze	U F FI	Firenze	FI-Boboli	X													Agglomerato Firenze
	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		X											
	U F FI	Scandicci	FI-Scandicci	X		X											
	U F FI	Signa	FI-Signa	X		X									X	U	
Zona Prato Pistoia	S F FI	Firenze	FI-Setignano			X								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											
Zona Valdarno aretino e Valdichiana	S F PT	Montale	PT-Montale	X	X	X								X	S	Zona delle Pianure interne	
	U F AR	Arezzo	AR-Acropolis	X	X	X			X					X	S		
Zona costiera	U F FI	Figline ed Incisa Valdarno	FI-Figline	X		X											
	U T AR	Arezzo	AR-Repubblica	X		X		X									
	U F GR	Grosseto	GR-URSS	X	X	X											
	U T GR	Grosseto	GR-Sonnino	X		X											
	R F GR	Grosseto	GR-Maremma			X									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				
	U T LI	Livorno	LI-Carducci	X	X	X		X									
	U F LI	Piombino	LI-Parco 8 Marzo	X		X			X	X	X	X	X				
	S I LI	Piombino	LI-Cotone	X		X		X		X(2)							
Zona Valdarno pisano e Piana lucchese	U F MS	Carrara	MS-Colombarotto	X		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	X							
	U T LU	Lucca	LU-Micheletto	X		X											
	R F LU	Lucca	LU-Carignano			X								X	S		
	U F PI	Pisa	PI-Passi	X	X	X								X	S		
Zona collinare e montana	U T PI	Pisa	PI-Borghetto	X	X	X		X									
	S F PI	S.Croce sull'Arno	PI-Santa Croce	X		X	X(1)							X	S		
	U F SI	Poggibonsi	SI-Poggibonsi	X	X	X											
	U T SI	Siena	SI-Bracci	X		X		X									
	S F PI	Pomarance	PI-Montecerboli	X		X	X(1)				X			X	S		
	U F LU	Bagni di Lucca	LU-Fornoli	X		X								X	S		
	R reg F AR	Chitignano	AR-Casa Stabbi	X		X								X	R		

Legenda: F - Fondo, T - Traffico, I - Industriale, U - Urbana, S - Suburbana, R - Rurale, R reg – Rurale fondo regionale; (1) misura di H₂S e non SO₂; (2) parametro sospeso dal 2018.

Figura 33 -Rete regionale delle stazioni di misura degli inquinanti

Per la caratterizzazione della qualità dell'aria in prossimità dell'intervento in esame, che si inserisce in un'area prevalentemente rurale, sarebbe necessario far riferimento ai valori registrati da una centralina di fondo rurale o suburbana che, tuttavia, non è presente in Provincia di Siena; sono state pertanto prese a riferimento le stazioni più prossime all'area di intervento, utilizzate entrambe per rappresentare lo stato della qualità dell'aria del comparto indagato. Si tratta di una postazione di fondo urbano situata nel Comune di Poggibonsi, dedicata al monitoraggio dei parametri PM₁₀, PM_{2,5} e NO₂ (distanza: circa 20 km) e di una stazione di traffico urbano all'interno del Comune di Siena, presso Bracci, per il rilevamento di NO₂, PM₁₀, e CO (distanza: circa 4 km).



Sono stati considerati i dati di concentrazione misurata dalle centraline di monitoraggio di cui sopra, relativi agli anni 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, scaricati dal sito web di ARPAT - Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana.

Ai fini del presente studio, sono stati considerati gli inquinanti maggiormente riconducibili al traffico veicolare: PM10, PM2.5, CO, NO2 e C6H6; per il benzene, non essendo disponibili misurazioni di tale inquinante nelle centraline considerate, a scopo indicativo, ma non rappresentativo dello stato della qualità dell'aria nella zona indagata, sono stati presi a riferimento i dati rilevati dall'intera rete regionale.

Si anticipa sin d'ora che lo stato della qualità dell'aria ambiente dell'ambito indagato, emerso dall'analisi dei dati misurati dalle centraline di monitoraggio considerate, indica una situazione complessivamente positiva e priva di particolari criticità in ragione del fatto che i valori di concentrazione di tutti gli inquinanti esaminati nel corso degli ultimi 5 anni, non hanno quasi mai superato i valori soglia previsti dal d.lgs. 155/2010 (solo nel 2017 è stato registrato un superamento del valore limite per la protezione umana per l'NO2).

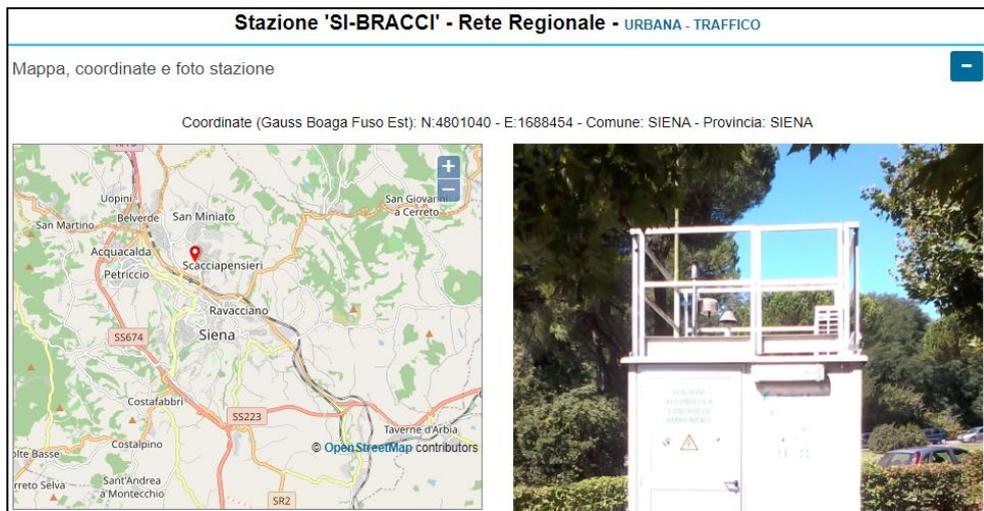


Figura 34 - Localizzazione stazione "SI-BRACCI"

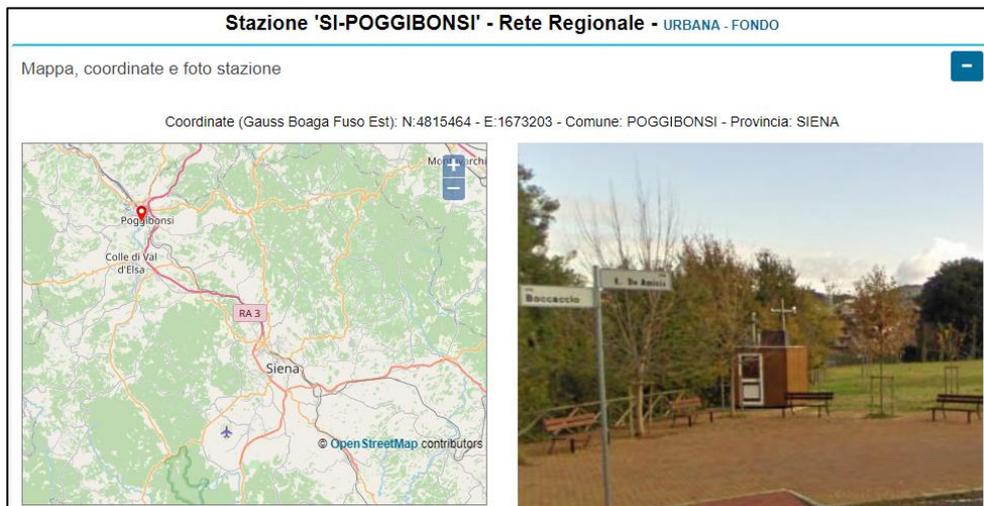


Figura 35 - Localizzazione stazione "SI-POGGIBONSI"

5.1.1 Il Biossido di Azoto (NO₂)

Gli ossidi di azoto in generale (NO_x), vengono prodotti durante i processi di combustione a causa della reazione che, ad elevate temperature, avviene tra l'azoto e l'ossigeno contenuto nell'aria. Tali ossidi per cui vengono emessi direttamente in atmosfera a seguito di tutti i processi di combustione ad alta temperatura (impianti di riscaldamento, motori dei veicoli, combustioni industriali, centrali di potenza, ecc.), per ossidazione dell'azoto atmosferico e, solo in piccola parte, per l'ossidazione dei composti dell'azoto contenuti nei combustibili utilizzati.

Nel caso del traffico autoveicolare, le quantità più elevate di questi inquinanti si rilevano quando i veicoli sono a regime di marcia sostenuta e in fase di accelerazione, poiché la produzione di NO_x aumenta all'aumentare del rapporto aria/combustibile, cioè quando è maggiore la disponibilità di ossigeno per la combustione.

L'NO₂ è un inquinante perlopiù secondario, che si forma in seguito all'ossidazione in atmosfera dell'NO, relativamente poco tossico. Esso svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di inquinanti secondari molto pericolosi come l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso. Una volta formati, questi inquinanti possono depositarsi al suolo per via umida (tramite le precipitazioni) o secca, dando luogo al fenomeno delle piogge acide, con conseguenti danni alla vegetazione e agli edifici.

Gli NO_x, ed in particolare l'NO₂, sono gas nocivi per la salute umana in quanto possono provocare irritazioni delle mucose, bronchiti e patologie più gravi come edemi polmonari. I soggetti più a rischio sono i bambini e le persone già affette da patologie all'apparato respiratorio.

Nel confronto con i valori limite, le concentrazioni di NO₂ hanno superato il limite annuale per la protezione della salute umana solo nel 2017 nella stazione di SI-Bracci, a fronte di un valore medio degli ultimi cinque anni che risulta inferiore; i valori di concentrazione rilevati dalla stazione di SI-Poggibonsi sono sensibilmente più bassi. Il limite orario non è mai stato superato in entrambe le centraline.

Nelle tabelle seguenti si confrontano i livelli misurati con i valori di riferimento.

BIOSSIDO DI AZOTO (NO ₂)						
	2015	2016	2017	2018	2019	Media ultimi 5 anni
Ore di rilevamento	8.760	8.784	8.760	8.760	8.760	8.765
Ore con dati non validi o non disponibili	431	517	453	417	498	463
Incidenza dei dati validi	95%	94%	95%	95%	94%	95%
Massima concentrazione oraria (mg/m ³)	155	162	162	148	181	162
N. superamenti concent. limite oraria h/anno (max 18 > 200 mg/m ³)	0	0	0	0	0	0
Concentrazione media annua mg/m ³ (valore limite 40 mg/m ³)	39,20	36,69	41,75	36,44	34,41	37,70
Numero di superamenti concentrazione soglia di allarme (400 mg/m ³)	0	0	0	0	0	0
Percentile 99.8 mg/m ³ (valore limite 200 mg/m ³)	121,69	125,00	139,39	128,00	124,00	127,62

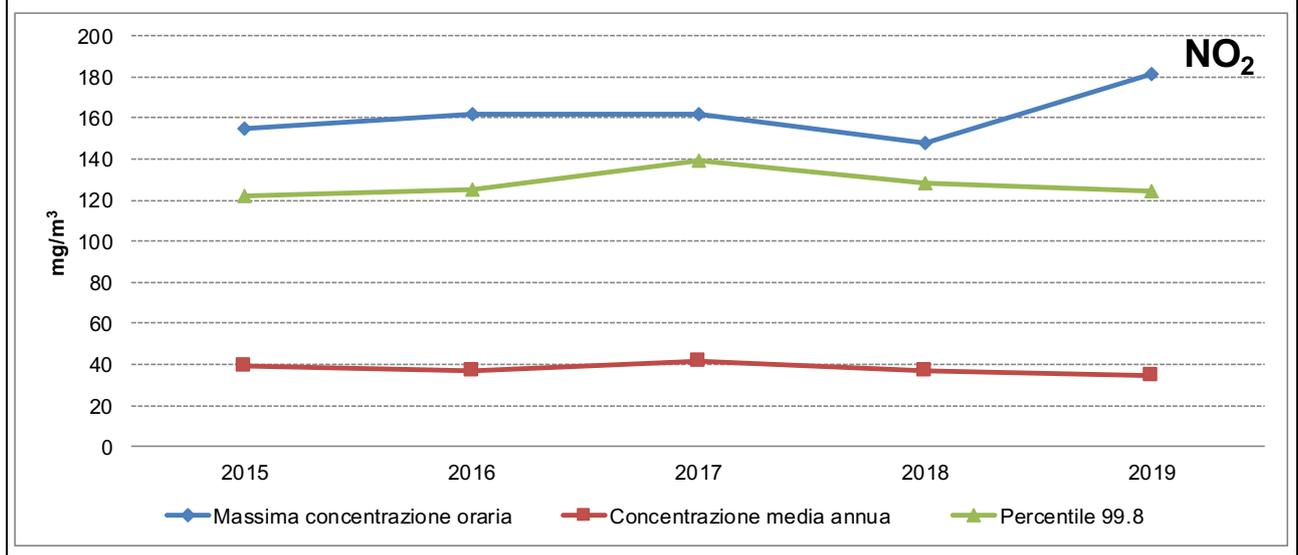


Figura 36 – Dinamica delle concentrazioni di NO₂ misurate nella stazione di SI-Bracci

BIOSSIDO DI AZOTO (NO ₂)						
	2015	2016	2017	2018	2019	Media ultimi 5 anni
Ore di rilevamento	8.760	8.784	8.760	8.760	8.760	8.765
Ore con dati non validi o non disponibili	634	469	423	436	435	479
Incidenza dei dati validi	93%	95%	95%	95%	95%	95%
Massima concentrazione oraria (mg/m ³)	85	72	97	84	88	85
N. superamenti concent. limite oraria h/anno (max 18 > 200 mg/m ³)	0	0	0	0	0	0
Concentrazione media annua mg/m ³ (valore limite 40 mg/m ³)	18,16	17,08	19,40	16,91	17,43	17,80
Numero di superamenti concentrazione soglia di allarme (400 mg/m ³)	0	0	0	0	0	0
Percentile 99.8 mg/m ³ (valore limite 200 mg/m ³)	69,00	64,37	75,00	64,35	69,70	68,49

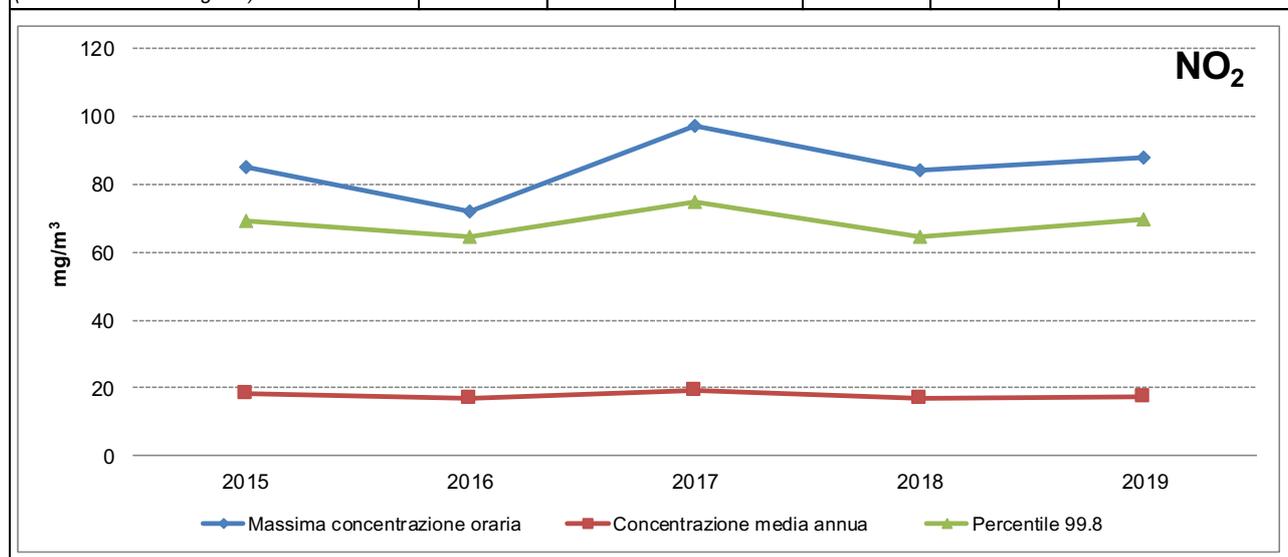


Figura 37 – Dinamica delle concentrazioni di NO₂ misurate nella stazione di SI-Poggibonsi

5.1.2 Il Monossido di Carbonio (CO)

Il monossido di carbonio (CO) è un gas risultante dalla combustione incompleta di gas naturali, propano, carburanti, benzine, carbone e legna. Le fonti di emissione di questo inquinante sono sia di tipo naturale che di tipo antropico; in natura, il CO viene prodotto in seguito a incendi, eruzioni dei vulcani ed emissioni da oceani e paludi. La principale fonte di emissione da parte dell'uomo è invece costituita dal traffico autoveicolare, oltre che da alcune attività industriali come la produzione di ghisa e acciaio, la raffinazione del petrolio, la lavorazione del legno e della carta.

Le sue concentrazioni in aria ambiente sono strettamente legate ai flussi di traffico locali, e gli andamenti giornalieri rispecchiano quelli del traffico, raggiungendo i massimi valori in concomitanza delle ore di punta a inizio e fine giornata, soprattutto nei giorni feriali. Durante le ore centrali della giornata i valori tendono a calare, grazie anche ad una migliore capacità dispersiva dell'atmosfera. A partire dall'inizio degli anni '90 le concentrazioni di CO sono in calo, soprattutto grazie all'introduzione delle marmitte catalitiche sui veicoli e al miglioramento della tecnologia dei motori a combustione interna.

Nel confronto con i valori limite, le concentrazioni di CO non hanno mai superato il valore limite sulle 8 ore per la protezione della salute umana, rimanendo ampiamente al di sotto del limite imposto dal d.lgs. 155/2010 pari a 10 mg/m³ e corrispondente alla media massima giornaliera calcolata su 8 ore.

Nella tabella seguente si sono confrontano i livelli misurati con i valori di riferimento.

MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)						
	2015	2016	2017	2018	2019	Media ultimi 5 anni
Ore di rilevamento	8.760	8.784	8.760	8.760	8.760	8.765
Ore con dati non validi o non disponibili	611	507	538	475	474	521
Incidenza dei dati validi	93%	94%	94%	95%	95%	94%
Massima concentrazione oraria (mg/m ³)	1,90	2,00	1,90	1,80	1,60	1,84
Massima concentrazione media in 8h (mg/m ³) (valore limite 10 mg/m ³)	1,46	1,65	1,41	1,39	1,09	1,40

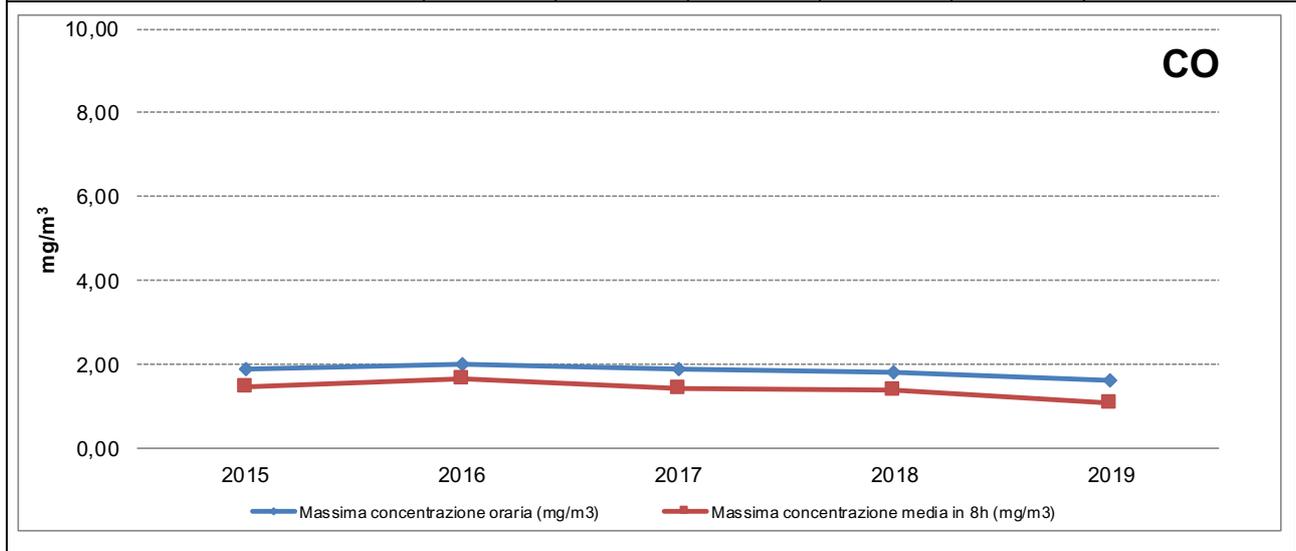


Figura 38 – Dinamica delle concentrazioni di CO misurate nella stazione di SI-Bracci

5.1.3 Il particolato atmosferico aerodisperso (PM10 e PM2.5)

PM (*Particulate Matter*) è la definizione generale con cui si definisce una miscela di particelle solide e liquide (particolato) di diverse caratteristiche chimico-fisiche e diverse dimensioni che si trovano in sospensione nell'aria.

Tali sostanze possono avere origine sia da fenomeni naturali (processi di erosione al suolo, incendi boschivi, dispersione di pollini, etc.) sia, ed in gran parte, da attività antropiche, in particolar modo da traffico veicolare e processi di combustione. L'insieme delle particelle sospese in atmosfera è chiamato PTS (Polveri Totali Sospese). Al fine di valutare l'impatto del particolato sulla salute umana si possono distinguere una frazione in grado di penetrare nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) e una frazione in grado di giungere fino alle parti inferiori dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). La prima corrisponde a particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (PM₁₀), la seconda a particelle con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm (PM_{2.5}).

Nel confronto con i valori limite, negli ultimi cinque anni, per quanto riguarda la stazione di SI-Bracci, le concentrazioni di PM10 non superano mai il limite annuale per la protezione delle salute umana e risulta ben al di sotto di 35 il numero di superamenti della soglia sulle 24 ore, percentile 90.4. Per la stazione di monitoraggio di SI-Poggibonsi, si registrano valori ancora più contenuti.

Nel confronto con i valori limite di cui al d.lgs. 155/2010, le concentrazioni di PM2,5 non hanno mai superato il limite annuale per la protezione della salute umana.

Di seguito, il confronto dei livelli misurati con i valori di riferimento.

PM ₁₀						
	2015	2016	2017	2018	2019	Media ultimi 5 anni
Giorni di rilevamento	365	366	365	365	365	365
Giorni con dati non validi o non disponibili	11	7	28	6	7	12
Incidenza dei dati validi	97%	98%	92%	98%	98%	97%
Giorni di superamento limite protezione umana gg/anno (35 in cui non superare 50 mg/m ³)	2	4	0	0	1	1
Concentrazione media (valore limite protezione umana 40 mg/m ³)	21,15	21,00	18,83	18,25	18,33	19,51
Percentile 90.4 mg/m ³ (valore limite 50 mg/m ³)	36,00	34,63	30,00	28,00	28,73	31,47

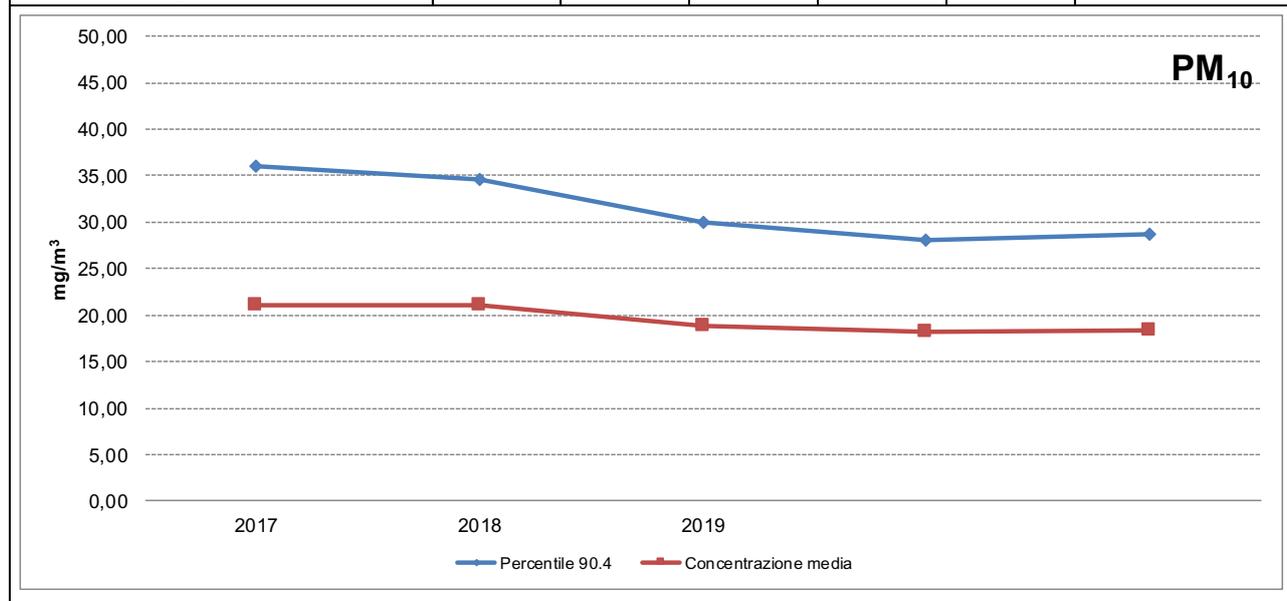


Figura 39 – Dinamica delle concentrazioni di PM10 misurate nella stazione di SI-Bracci

PM ₁₀						
	2015	2016	2017	2018	2019	Media ultimi 5 anni
Giorni di rilevamento	365	366	365	365	365	365
Giorni con dati non validi o non disponibili	12	7	28	32	15	19
Incidenza dei dati validi	97%	98%	92%	91%	96%	95%
Giorni di superamento limite protezione umana gg/anno (35 in cui non superare 50 mg/m ³)	0	0	0	0	0	0
Concentrazione media (valore limite protezione umana 40 mg/m ³)	19,64	17,81	18,69	18,53	18,55	18,64
Percentile 90.4 mg/m ³ (valore limite 50 mg/m ³)	30,00	29,00	27,00	26,00	29,00	28,20

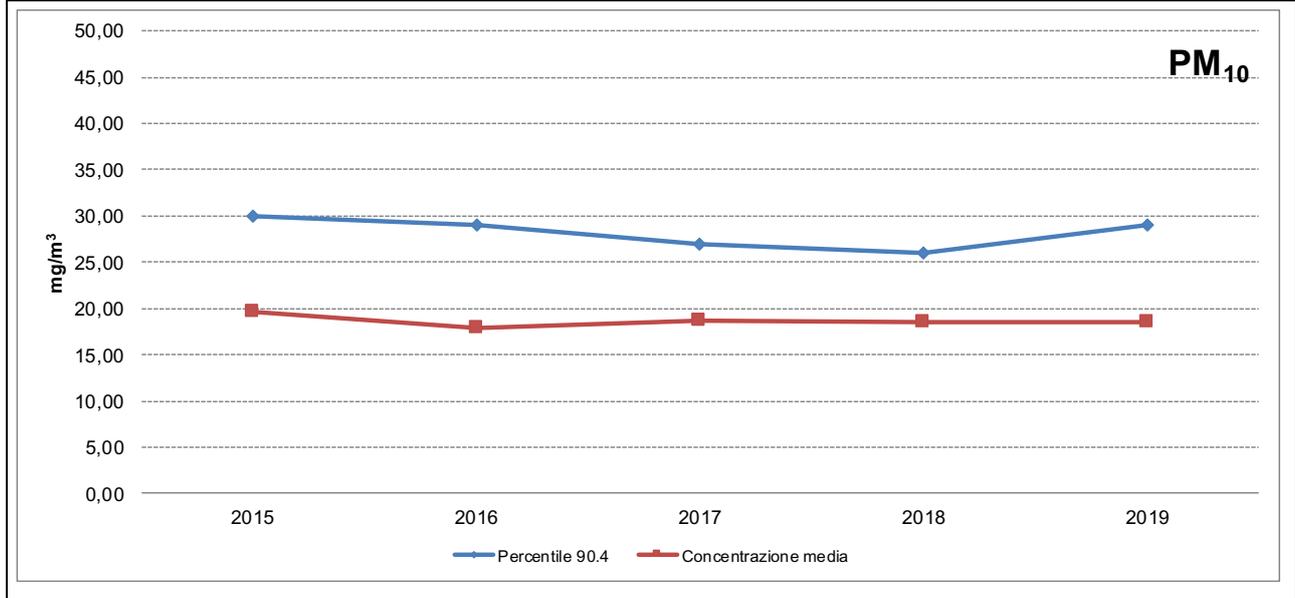


Figura 40 – Dinamica delle concentrazioni di PM10 misurate nella stazione di SI-Poggibonsi

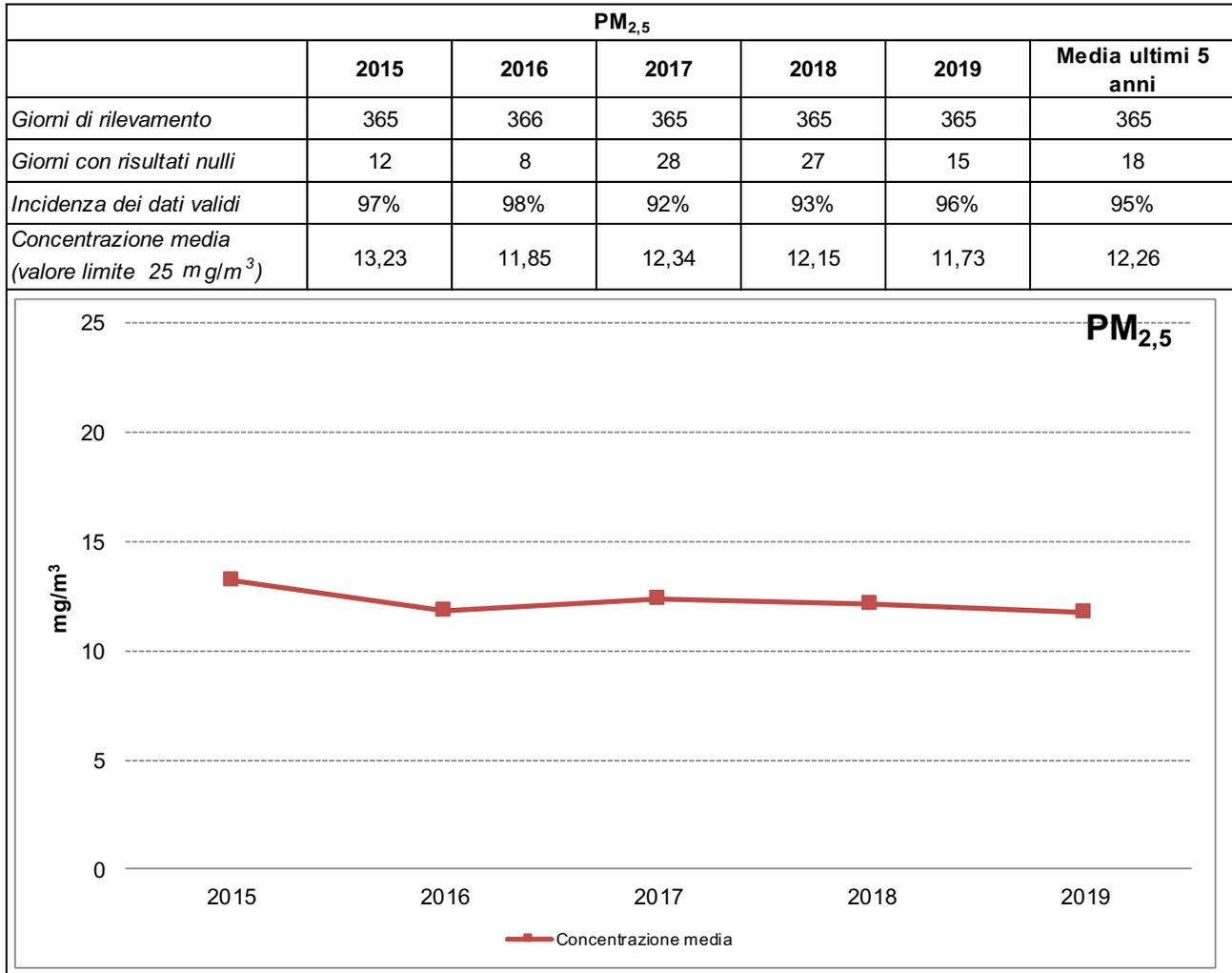


Figura 41 – Dinamica delle concentrazioni di PM_{2,5} misurate nella stazione di SI-Poggibonsi

5.1.4 Il Benzene (C₆H₆)

Nel presente studio si è ritenuto di prendere in considerazione anche il benzene in ragione della sua significativa correlazione alla fonte "traffico"; pertanto, ancorché non rilevato dalle centraline di riferimento individuate, a scopo indicativo, ma non rappresentativo dello stato della qualità dell'aria nella zona indagata, si fa riferimento a quanto rilevato dalla rete regionale.

Il benzene è il più comune e largamente utilizzato degli idrocarburi aromatici. Viene sintetizzato a partire dal petrolio e utilizzato in svariati processi industriali come solvente, come antidetonante nella benzina e come materia prima per produrre plastiche, resine sintetiche e pesticidi.

La maggior parte del benzene presente nell'aria deriva da combustione incompleta di combustibili fossili o per evaporazione dai depositi: le principali fonti di emissione sono il traffico veicolare (soprattutto da motori a benzina) e diversi processi di combustione industriale.

Generalmente, gli effetti tossici provocati da questo inquinante variano a seconda della concentrazione e della durata dell'esposizione, e va sottolineato che esso, insieme ad altri composti organici volatili, è stato inserito dallo IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) tra le sostanze per le quali vi è una sufficiente evidenza di cancerogenicità per l'uomo.

Il monitoraggio relativo al 2019 a scala regionale ha confermato l'assenza di criticità alcuna ed il pieno rispetto dei valori limite. Il monitoraggio del benzene è stato effettuato in modo continuo nelle 7 stazioni di

rete regionale previste dalla delibera d.g.r.t. n. 964/2015. Gli indicatori sono stati confrontati con i valori limite di legge che per il benzene è la media annuale di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I dati medi annuali registrati negli ultimi anni sono stati piuttosto costanti in tutti i siti di monitoraggio confermando una situazione molto positiva nei confronti del limite di cui al d.lgs.155/2010.

Classificazione Zona e Stazione	Provincia e Comune	Nome stazione	Media annuale benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
			2015	2016	2017	2018	2019
Agglomerato Firenze	UF Firenze (FI)	FI-Bassi	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2
	UT Firenze (FI)	FI-Gramsci	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5
Zona Prato Pistoia	UF Prato (PO)	PO-Roma	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7
Zona Valdarno aretino e ValdiChiana	UF Arezzo (AR)	AR-Acropoli	-	-	-	1,1	1
Zona Valdarno pisano e Piana lucchese	UF Lucca (LU)	LU- S.Concordio	1,1*	1,3	1,4	1,3	1,1
Zona costiera	UF Livorno (LI)	LI-LaPira	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	UF Piombino (LI)	LI-ParcoVIII III	0,4*	0,4	0,5	0,4	0,2

Figura 42 - Benzene - trend medie annuali registrate a scala regionale dal 2015 al 2019

5.2 La modellazione della dispersione degli inquinanti atmosferici

Le analisi proposte di seguito sono effettuate con l'ausilio del software ARIA Impact™ che - ricevuti come dati in ingresso le emissioni calcolate dal software TREFIC™ - fornisce i valori di concentrazione degli inquinanti in atmosfera generati dai flussi di traffico di cui ai tre diversi scenari in esame.

I valori di concentrazione simulati, sommati alle medie degli ultimi 5 anni dei valori misurati dalle centraline ARPAT ed assunti come riferimento per la valutazione del fondo, consentono di valutare i livelli di inquinanti attesi per i tre scenari di riferimento. Perché il risultato sia confrontabile con la normativa, gli inquinanti selezionati sono quelli riportati nella seguente tabella, dove sono riportati i limiti della normativa e le medie dei valori rilevati dalle centraline ARPAT. Come stazione di riferimento per i valori di fondo è stata scelta quella di SI-Bracci in ragione della sua localizzazione, la più prossima all'area di intervento; si evidenzia come tale scelta sia stata effettuata anche a scopo cautelativo in quanto i valori di concentrazione misurati in una stazione di traffico urbano sono generalmente più elevati.

Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Periodo di mediazione	Valori rete monitoraggio ARPAT	
					Media anni 2015-2016-2017-2018-2019	Centralina
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	anno civile	19,51	SI-Bracci
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	24 ore	31,47	SI-Bracci
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	anno civile	37,70	SI-Bracci
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	1 ora	127,62	SI-Bracci
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	massima media su 8 ore consecutive	1,40	SI-Bracci
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	anno civile	11,71	(1)
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	anno civile	1,20	(2)

(1) Essendo il dato del PM_{2.5} mancante poiché non registrato dalla centralina di riferimento, questo è stato ottenuto applicando il rapporto secondo cui convenzionalmente il PM_{2.5} è il 60% del PM₁₀.

(2) Valore medio ottenuto dai valori medi registrati annualmente dal 2015 al 2019 dalle 7 stazioni di monitoraggio del benzene della rete regionale.

Le simulazioni sono state condotte anche per gli ossidi di azoto (NO_X; periodo di mediazione: anno civile), al fine di verificare a titolo puramente indicativo la portata dei potenziali incrementi attesi per gli scenari in esame (stato di progetto ed alternativa 0 rispetto allo stato di fatto), ma senza effettuarne il confronto con il limite di legge, limite non applicabile in quanto la stazione di Siena considerata non è idonea alla valutazione della protezione della vegetazione secondo le prescrizioni di cui al d.lgs. 155/2010. A tal proposito occorre infatti precisare che le centraline qui considerate (SI-Bracci e SI-Poggibonsi) non rispettano i parametri di rappresentatività per la protezione della vegetazione così come individuati nell'allegato III, paragrafo 3, punto 2, del d.lgs. 155/2010 e propri delle stazioni localizzate in contesti rurali o suburbani; al di fuori delle zone agricole, il limite normativo stabilito per gli NO_X (30 µg/m³) solitamente non è mai rispettato; in Toscana, l'unica stazione che rispetta i criteri di cui sopra è la rurale fondo di Chitignano (SI-Casa Stabbi), a quasi 60 km di distanza dall'area di progetto in Provincia di Arezzo, presso la quale i valori di NO_X sono costantemente a livelli molto inferiori al valore limite.

5.2.1 Il modello ARIA Impact

Il pacchetto software ARIA Impact™ è composto da un modulo amichevole d'interfaccia a finestre grafiche e di un modello gaussiano coerente con le raccomandazioni della US E.P.A. (*Environmental Protection Agency*). In particolare rientra tra i software elencati dalle Linee guida pubblicate dal Centro Tematico Nazionale - Atmosfera Clima Emissioni in Atmosfera (CTN_ACE), <http://www.smr.arpa.emr.it/ctn/>.

Le equazioni di base del modello gaussiano sono quelle classiche che descrivono la dispersione rettilinea di un pennacchio in condizioni stazionarie. Tali equazioni, con alcune modifiche, sono usate per trattare diverse tipologie di sorgenti, classificabili in tre categorie principali: sorgenti di tipo puntiforme, sorgenti di tipo areale e sorgenti di tipo lineare.

L'equazione gaussiana di base, relativa ad una sorgente puntiforme con pennacchio stazionario, utilizzata per il calcolo della concentrazione media oraria ad una distanza sottovento x e ad una distanza laterale y , è la seguente:

$$\chi = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2}$$

dove:

χ	concentrazione oraria	(massa per unità di volume)
Q	rateo di emissione	(massa per unità di tempo)
K	coefficiente per trasformazione le concentrazioni nelle unità di misura desiderate	
V	termine di dispersione verticale	
D	termine di decadimento	
σ_y	deviazione standard della distribuzione laterale delle concentrazioni	(m)
σ_z	deviazione standard della distribuzione verticale delle concentrazioni	(m)
u_s	velocità del vento media alla quota di rilascio	(m/s)

Il termine di dispersione verticale V , include gli effetti dovuti all'altezza fisica del camino, all'innalzamento del pennacchio (Briggs, 1975), alla quota dei recettori, allo strato di rimescolamento, alla deposizione secca, ecc. Dalla formula si può comprendere come, per basse velocità del vento, la concentrazione calcolata assuma valori molto elevati; la letteratura ha evidenziato che per $u_s < 1$ m/s tali valori sono sovrastimati. Per questo motivo, ARIA Impact include un algoritmo di calcolo specifico (della classe dei modelli "a puff") per basse velocità del vento, in grado di migliorare il valore calcolato, in cui sostanzialmente la velocità del vento u_s viene sostituita con un coefficiente di dispersione longitudinale σ_x .

La velocità del vento, se necessario, viene estrapolata alla quota di emissione secondo la seguente legge di potenza:

$$u_s = u_m \left(\frac{h_s}{z_m} \right)^p$$

dove u_m è la velocità del vento misurata alla quota z_m , mentre all'esponente p , in mancanza di informazioni fornite dall'utente, vengono assegnati dal modello valori standard funzione della categoria di stabilità.

I parametri di dispersione orizzontale e verticale del pennacchio per una sorgente puntiforme, sono rappresentati nei grafici seguenti in funzione della distanza sottovento, della categoria di stabilità secondo Pasquill o McElroy e dell'opzione "rural" o "urban" mode. Nella figura seguente sono riportate curve classiche dei coefficienti di dispersione orizzontale e verticale.

Il modello gaussiano adottato è un modello analitico, determina cioè in maniera esatta la concentrazione d'inquinante al suolo sulla base della formula presentata. Non avendo quindi da risolvere numericamente equazioni differenziali in un dominio discreto, non è affetto dall'incertezza numerica che deriva, nel caso di modelli avanzati, dalla risoluzione del dominio discreto adottato. Tuttavia, la risoluzione del grigliato di calcolo delle concentrazioni e la dimensione delle sorgenti influenzano le concentrazioni massime calcolate, in quanto introducono una distanza minima recettore - sorgente tanto maggiore quanto maggiore è il passo di griglia: in questo senso, permane una incertezza numerica nel calcolo delle concentrazioni massime, incertezza che si riduce rapidamente con la distanza dalla sorgente.

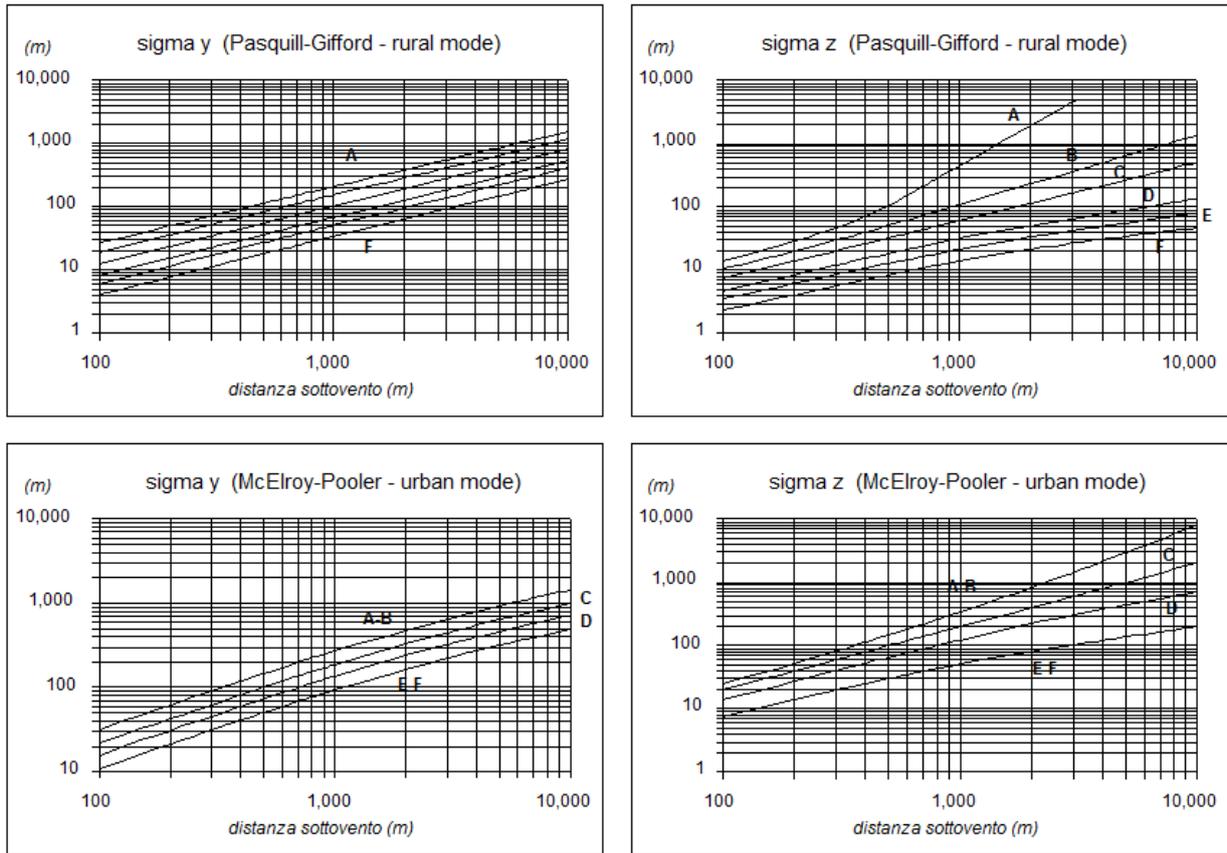


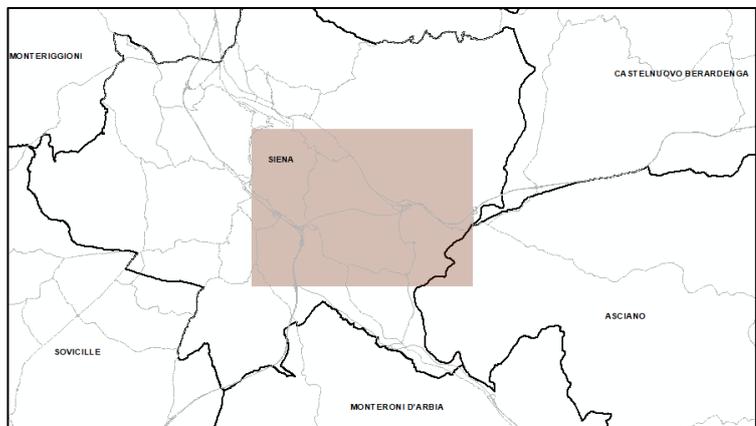
Figura 43 - Parametri di dispersione orizzontale e verticale modello ARIA Impact

5.2.2 Descrizione delle simulazioni

Il modello gaussiano classico attivato è conforme al modello EPA ISC3. Il contributo alla locale qualità dell'aria delle strade della rete esaminata è stato stimato simulando ora per ora la dispersione delle relative emissioni generata dal dato meteorologico e calcolando a livello annuale le statistiche di concentrazione confrontabili con i limiti di legge.

Le strade sono state disaggregate come successioni di sorgenti volumetriche che emettono in maniera proporzionale alla lunghezza del segmento ricadente all'interno delle singole celle di calcolo, in modo simile a quanto suggerito per il modello EPA ISC3.

L'area di calcolo individuata ha una estensione di 35 kmq, con 14.000 celle di calcolo di lato 50 metri.



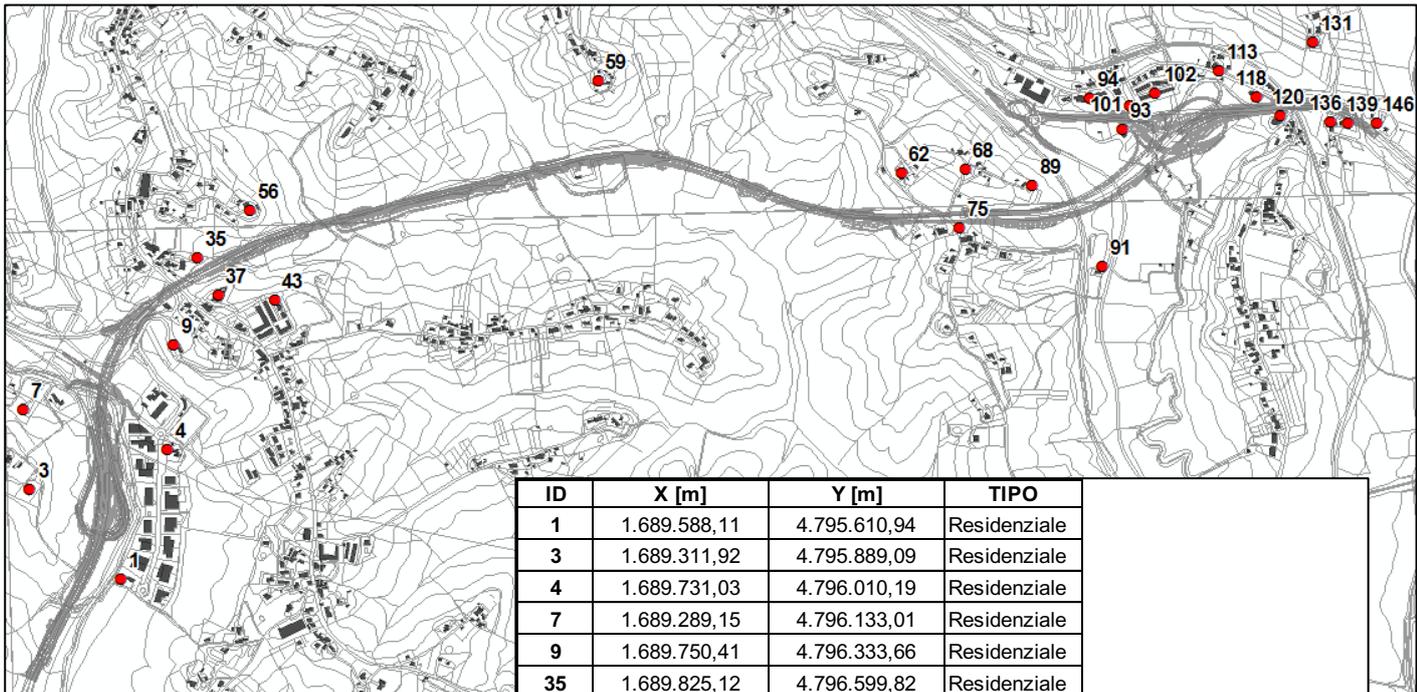
5.2.3 Risultati delle simulazioni

Le simulazioni condotte evidenziano l'evoluzione attesa delle concentrazioni di inquinanti sul territorio interessato dall'intervento; negli elaborati cartografici allegati al presente documento, sono rappresentate le planimetrie di dispersione degli inquinanti (mappe di isoconcentrazione) generate dalle modellazioni:

- T00IA45AMBCT01, Mappa concentrazioni stato attuale - PM10;
- T00IA45AMBCT02, Mappa concentrazioni alternativa 0 - PM10;
- T00IA45AMBCT03, Mappa concentrazioni stato di progetto - PM10;
- T00IA45AMBCT04, Mappa concentrazioni stato attuale - PM10 percentile 90.4;
- T00IA45AMBCT05, Mappa concentrazioni alternativa 0 - PM10 percentile 90.4;
- T00IA45AMBCT06, Mappa concentrazioni stato di progetto - PM10 percentile 90.4;
- T00IA45AMBCT07, Mappa concentrazioni stato attuale - NO2;
- T00IA45AMBCT08, Mappa concentrazioni alternativa 0 - NO2;
- T00IA45AMBCT09, Mappa concentrazioni stato di progetto - NO2;
- T00IA45AMBCT10, Mappa concentrazioni stato attuale - NO2 percentile 99.8;
- T00IA45AMBCT11, Mappa concentrazioni alternativa 0 - NO2 percentile 99.8;
- T00IA45AMBCT12, Mappa concentrazioni stato di progetto - NO2 percentile 99.8;
- T00IA45AMBCT13, Mappa concentrazioni stato attuale - CO;
- T00IA45AMBCT14, Mappa concentrazioni alternativa 0 - CO;
- T00IA45AMBCT15, Mappa concentrazioni stato di progetto - CO;
- T00IA45AMBCT16, Mappa concentrazioni stato attuale - PM2.5;
- T00IA45AMBCT17, Mappa concentrazioni alternativa 0 - PM2.5;
- T00IA45AMBCT18, Mappa concentrazioni stato di progetto - PM2.5;
- T00IA45AMBCT19, Mappa concentrazioni stato attuale - NMVOC;
- T00IA45AMBCT20, Mappa concentrazioni alternativa 0 - NMVOC;
- T00IA45AMBCT21, Mappa concentrazioni stato di progetto - NMVOC;
- T00IA45AMBCT22, Mappa concentrazioni stato attuale - NOX;
- T00IA45AMBCT23, Mappa concentrazioni alternativa 0 - NOX;
- T00IA45AMBCT24, Mappa concentrazioni stato di progetto - NOX.

La figura seguente è invece rappresentativa della localizzazione dei diversi ricettori individuati nel comparto territoriale indagato, in corrispondenza di cui sono state condotte le valutazioni circa le variazioni dei valori di concentrazione nei tre scenari considerati (cfr. allegato T00IA45AMBPL01, Planimetria dei ricettori e delle sorgenti emmissive).

Si tratta di un totale di 26 ricettori rappresentativi delle diverse zone residenziali che sono distribuite lungo il tracciato e più prossime ad esso; si tratta di case sparse e di aree residenziali a tessuto discontinuo e rado, dove non si rileva la presenza di ricettori definiti come sensibili dalla normativa (scuole, ospedali, case di cura e case di riposo). I ricettori sono stati selezionati da quelli censiti nell'ambito della redazione dello studio acustico a cui si rimanda per maggiori approfondimenti circa la loro caratterizzazione (si veda in particolare l'elaborato T00IA46AMBSC01- Schede di censimento dei ricettori acustici).



ID	X [m]	Y [m]	TIPO
1	1.689.588,11	4.795.610,94	Residenziale
3	1.689.311,92	4.795.889,09	Residenziale
4	1.689.731,03	4.796.010,19	Residenziale
7	1.689.289,15	4.796.133,01	Residenziale
9	1.689.750,41	4.796.333,66	Residenziale
35	1.689.825,12	4.796.599,82	Residenziale
37	1.689.887,35	4.796.484,56	Residenziale
43	1.690.060,01	4.796.469,90	Residenziale
56	1.689.985,68	4.796.745,34	Residenziale
59	1.691.048,58	4.797.144,45	Residenziale
62	1.691.976,55	4.796.860,12	Residenziale
68	1.692.171,75	4.796.874,15	Residenziale
75	1.692.154,78	4.796.690,84	Residenziale
89	1.692.376,64	4.796.823,85	Residenziale
91	1.692.592,93	4.796.574,71	Residenziale
93	1.692.654,40	4.796.996,46	Residenziale
94	1.692.552,88	4.797.091,83	Altro
101	1.692.677,19	4.797.066,75	Residenziale
102	1.692.753,58	4.797.106,05	Residenziale
113	1.692.946,75	4.797.176,02	Residenziale
118	1.693.063,69	4.797.093,11	Residenziale
120	1.693.136,15	4.797.036,88	Residenziale
131	1.693.235,39	4.797.262,02	Residenziale
136	1.693.287,55	4.797.018,22	Residenziale
139	1.693.341,28	4.797.014,59	Residenziale
146	1.693.429,71	4.797.013,44	Residenziale

ID: cfr. censimento ricettori studio acustico

Coordinate (X, Y): sistema di riferimento Monte Mario Italy 1 (EPSG 3003)

Altro: sede del dipartimento di Siena di ARPA Toscana e del dipartimento di prevenzione dell'ASL

Nelle seguenti tabelle, infine, per ciascuno degli inquinanti considerati, sono riportati i valori calcolati dal modello rappresentativi sia delle concentrazioni medie che di quelle massime del dominio di analisi per ciascuno degli scenari di riferimento; tali valori sono confrontabili con quelli rilevati dalla rete di monitoraggio di ARPAT e con i limiti previsti dalla normativa; si specifica che i valori riportati per il benzene sono stati calcolati come quota parte dei COVNM (5%). Come già evidenziato al paragrafo 5.2, le simulazioni sono state condotte anche per gli ossidi di azoto (NOx), al fine di verificare a titolo puramente indicativo - alla luce altresì della mancanza di un valore di fondo rappresentativo dell'area in esame - la portata dei potenziali incrementi attesi per gli scenari in esame (stato di progetto ed alternativa 0 rispetto allo stato di fatto); si ricorda come per gli ossidi di azoto il limite non sia applicabile in quanto la stazione considerata non è idonea alla valutazione della protezione della vegetazione secondo le prescrizioni dell'allegato III, paragrafo 3, punto 2, del d.lgs. 155/2010.

Dalla lettura dei dati, si può desumere come gli incrementi stimati, rispetto ai valori di fondo, siano poco significativi e non tali da indurre superamenti dei limiti normativi; per quanto riguarda lo scenario di cui all'alternativa "0", gli incrementi dei massimi di griglia vanno dallo 0,056% del CO allo 0,99% del 99.8° percentile dell'NO₂; ancora più contenuti (con l'unica eccezione per il 99.8° percentile del biossido di azoto) sono gli aumenti concernenti lo scenario progettuale, che appare pertanto migliorativo rispetto alla non realizzazione dell'opera, in particolare se si osservano i dati rappresentativi delle concentrazioni medie.

Le medesime considerazioni possono essere espresse per i ricettori selezionati, dove i valori di concentrazione attesi sono ancora più modesti (si vedano le tabelle riportate nelle pagine che seguono). Si ritengono pertanto trascurabili i potenziali effetti sullo stato attuale di qualità dell'aria riconducibili all'entrata in esercizio dell'opera in progetto.

Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Valori rete monitoraggio ARPAT Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	RISULTATI SIMULAZIONI						
					Concentrazioni massime			Concentrazioni attese		Var. %	
					SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo- SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo- SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,55	0,62	0,59	19,58	19,55	0,34%	0,18%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,80	0,92	0,89	31,59	31,57	0,38%	0,31%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,80	2,02	1,97	37,92	37,86	0,58%	0,42%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	9,93	11,19	11,83	128,88	129,52	0,99%	1,49%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,007	0,008	0,007	1,40	1,40	0,056%	-0,003%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,41	0,47	0,45	11,76	11,74	0,45%	0,29%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,09	0,10	0,09	1,21	1,20	0,88%	0,28%
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	9,45	11,08	11,12	-	-	17,22%	17,66%

Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Valori rete monitoraggio ARPAT Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	RISULTATI SIMULAZIONI						
					Concentrazioni medie			Concentrazioni attese		Var. %	
					SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo- SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo- SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,10	0,11	0,11	19,52	19,51	0,05%	0,02%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,18	0,19	0,18	31,49	31,48	0,06%	0,03%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,31	0,34	0,33	37,73	37,71	0,08%	0,04%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	2,64	2,95	2,88	127,93	127,86	0,24%	0,18%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,001	0,001	0,001	1,40	1,40	0,008%	-0,001%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,08	0,09	0,08	11,71	11,71	0,06%	0,03%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,02	0,02	0,02	1,20	1,20	0,12%	-0,01%
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	1,75	1,93	1,89	-	-	10,23%	8,07%

Tabella 20 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione massimi e medi all'interno del dominio di calcolo)

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			1			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)			SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51			0,16	0,18	0,18	19,52	19,52	0,07%	0,07%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47			0,30	0,34	0,35	31,51	31,52	0,12%	0,15%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70			0,51	0,55	0,57	37,74	37,76	0,11%	0,16%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62			4,46	5,36	5,55	128,52	128,71	0,71%	0,85%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40			0,002	0,002	0,002	1,40	1,40	0,01%	0,01%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71			0,12	0,13	0,13	11,72	11,72	0,09%	0,09%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20			0,02	0,03	0,03	1,20	1,20	0,16%	0,17%
											OPZ "0" / SDF	SDP / SDF	
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-			2,94	3,21	3,29	-	-	9,00%	11,81%

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			3			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)			SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51			0,20	0,23	0,23	19,54	19,54	0,15%	0,13%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47			0,28	0,32	0,33	31,52	31,52	0,14%	0,15%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70			0,51	0,58	0,58	37,77	37,78	0,19%	0,20%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62			3,95	4,60	4,42	128,27	128,09	0,51%	0,37%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40			0,002	0,002	0,002	1,40	1,40	0,02%	0,01%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71			0,15	0,18	0,17	11,73	11,73	0,20%	0,18%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20			0,02	0,03	0,03	1,20	1,20	0,28%	0,19%
											OPZ "0" / SDF	SDP / SDF	
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-			3,69	4,26	4,32	-	-	15,35%	16,91%

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			4			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)			SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51			0,20	0,23	0,21	19,54	19,52	0,15%	0,07%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47			0,35	0,41	0,41	31,53	31,53	0,18%	0,18%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70			0,63	0,73	0,73	37,80	37,79	0,27%	0,25%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62			6,35	7,43	7,71	128,70	128,98	0,84%	1,06%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40			0,002	0,003	0,002	1,40	1,40	0,02%	0,00%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71			0,15	0,17	0,16	11,73	11,72	0,19%	0,11%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20			0,03	0,04	0,03	1,20	1,20	0,39%	0,18%
											OPZ "0" / SDF	SDP / SDF	
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-			3,49	4,02	3,95	-	-	15,39%	13,42%

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			7			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)			SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51			0,26	0,30	0,29	19,55	19,54	0,23%	0,16%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47			0,38	0,45	0,44	31,54	31,53	0,22%	0,19%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70			0,66	0,77	0,76	37,81	37,80	0,29%	0,25%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62			5,84	6,77	6,28	128,54	128,06	0,72%	0,34%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40			0,003	0,003	0,003	1,40	1,40	0,03%	0,01%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71			0,20	0,23	0,22	11,74	11,73	0,29%	0,22%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20			0,03	0,04	0,03	1,21	1,20	0,43%	0,18%
											OPZ "0" / SDF	SDP / SDF	
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-			4,64	5,47	5,47	-	-	17,85%	17,96%

Tabella 21 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 1-3-4-7)

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI							
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Valori rete monitoraggio ARPAT			Concentrazioni attese			Var. %	
				Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,36	0,40	0,32	19,55	19,47	0,20%	-0,23%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,58	0,66	0,54	31,54	31,43	0,24%	-0,14%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,14	1,26	1,01	37,83	37,58	0,34%	-0,33%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	6,26	7,03	6,16	128,39	127,52	0,60%	-0,08%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,004	0,005	0,003	1,40	1,40	0,03%	-0,07%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,27	0,30	0,30	11,74	11,74	0,26%	0,26%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,06	0,07	0,05	1,21	1,19	0,52%	-0,98%
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	6,05	6,77	5,79	-	-	11,99%	-4,26%

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI							
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Valori rete monitoraggio ARPAT			Concentrazioni attese			Var. %	
				Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,41	0,46	0,44	19,56	19,54	0,28%	0,16%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,66	0,75	0,73	31,57	31,54	0,31%	0,23%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,25	1,41	1,39	37,87	37,84	0,44%	0,38%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	7,25	8,06	8,19	128,42	128,56	0,63%	0,73%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,005	0,005	0,005	1,40	1,40	0,04%	0,01%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,31	0,35	0,33	11,75	11,73	0,35%	0,24%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,06	0,07	0,06	1,21	1,20	0,70%	-0,07%
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	7,27	8,28	8,38	-	-	13,90%	15,30%

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI							
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Valori rete monitoraggio ARPAT			Concentrazioni attese			Var. %	
				Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,32	0,36	0,32	19,55	19,51	0,20%	0,00%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,50	0,57	0,52	31,54	31,49	0,21%	0,05%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,96	1,07	0,98	37,82	37,72	0,31%	0,06%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	4,78	5,37	5,37	128,21	128,21	0,46%	0,46%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,004	0,004	0,003	1,40	1,40	0,03%	-0,02%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,24	0,27	0,24	11,74	11,71	0,25%	0,03%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,05	0,06	0,05	1,21	1,20	0,48%	-0,35%
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	5,56	6,28	6,00	-	-	12,94%	7,90%

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI							
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Valori rete monitoraggio ARPAT			Concentrazioni attese			Var. %	
				Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,23	0,25	0,21	19,54	19,50	0,13%	-0,08%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,38	0,43	0,35	31,52	31,45	0,15%	-0,08%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,71	0,79	0,67	37,78	37,66	0,21%	-0,12%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	3,86	4,36	4,22	128,12	127,98	0,39%	0,28%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,003	0,003	0,002	1,40	1,40	0,02%	-0,03%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,17	0,19	0,16	11,73	11,70	0,17%	-0,08%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,04	0,04	0,03	1,20	1,19	0,33%	-0,48%
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	3,90	4,38	3,95	-	-	12,23%	1,29%

Tabella 22 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 9-35-37-43)

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			56			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,26	0,30	0,29	19,54	19,53	0,18%	0,11%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,44	0,49	0,46	31,52	31,50	0,17%	0,09%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,85	0,97	0,95	37,81	37,80	0,30%	0,27%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	5,39	6,19	6,39	128,42	128,62	0,63%	0,79%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,003	0,004	0,003	1,40	1,40	0,03%	0,01%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,20	0,23	0,22	11,73	11,73	0,22%	0,17%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,04	0,05	0,04	1,21	1,20	0,47%	-0,03%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	4,73	5,37	5,45	-	-	13,63%	15,41%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			59			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,15	0,17	0,17	19,53	19,53	0,10%	0,08%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,24	0,27	0,27	31,50	31,50	0,10%	0,10%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,46	0,52	0,52	37,76	37,76	0,15%	0,16%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	3,21	3,69	3,68	128,10	128,10	0,38%	0,37%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,002	0,002	0,002	1,40	1,40	0,01%	0,01%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,12	0,13	0,13	11,72	11,72	0,12%	0,11%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,02	0,03	0,02	1,20	1,20	0,25%	0,03%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	2,72	3,07	3,17	-	-	13,12%	16,57%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			62			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,26	0,29	0,29	19,54	19,54	0,17%	0,16%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,41	0,46	0,46	31,53	31,52	0,18%	0,16%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,79	0,90	0,92	37,81	37,83	0,28%	0,36%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	4,19	4,79	4,98	128,22	128,41	0,47%	0,62%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,003	0,003	0,003	1,40	1,40	0,03%	0,02%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,19	0,22	0,22	11,73	11,73	0,22%	0,22%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,04	0,05	0,04	1,21	1,20	0,45%	0,13%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	4,63	5,26	5,48	-	-	13,64%	18,53%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			68			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,18	0,30	0,19	19,63	19,52	0,63%	0,07%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,26	0,48	0,47	31,69	31,68	0,69%	0,66%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,54	0,92	0,60	38,08	37,77	1,00%	0,17%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	3,06	4,80	4,95	129,36	129,51	1,36%	1,48%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,002	0,003	0,002	1,40	1,40	0,10%	0,01%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,13	0,23	0,15	11,80	11,72	0,80%	0,10%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,03	0,05	0,03	1,22	1,20	1,60%	0,05%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	4,80	5,44	5,66	-	-	13,48%	17,89%		

Tabella 23 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 56-59-62-68)

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			75			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,31	0,35	0,35	19,55	19,55	0,22%	0,22%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,56	0,63	0,64	31,55	31,55	0,24%	0,27%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,90	1,03	1,07	37,82	37,87	0,33%	0,44%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	6,79	7,79	8,28	128,62	129,11	0,78%	1,17%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,003	0,004	0,004	1,40	1,40	0,03%	0,02%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,23	0,27	0,27	11,74	11,74	0,28%	0,31%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,05	0,05	0,05	1,21	1,20	0,53%	0,19%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	5,67	6,47	6,82	-	-	14,10%	20,28%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			89			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,38	0,43	0,43	19,56	19,56	0,27%	0,27%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,58	0,66	0,67	31,55	31,56	0,25%	0,29%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,15	1,31	1,36	37,86	37,91	0,42%	0,55%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	6,33	7,30	7,61	128,58	128,90	0,76%	1,00%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,004	0,005	0,005	1,40	1,40	0,04%	0,03%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,28	0,32	0,33	11,75	11,75	0,34%	0,36%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,06	0,07	0,06	1,21	1,20	0,67%	0,25%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	6,81	7,78	8,15	-	-	14,22%	19,73%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			91			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,17	0,19	0,19	19,53	19,52	0,09%	0,07%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,30	0,33	0,32	31,50	31,49	0,10%	0,07%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,51	0,56	0,56	37,75	37,75	0,13%	0,12%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	3,25	3,62	3,74	127,99	128,11	0,29%	0,39%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,002	0,002	0,002	1,40	1,40	0,01%	0,00%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,13	0,14	0,14	11,72	11,72	0,11%	0,09%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,03	0,03	0,03	1,20	1,20	0,21%	0,05%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	2,91	3,21	3,26	-	-	10,16%	12,02%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			93			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,32	0,38	0,36	19,57	19,55	0,31%	0,22%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,50	0,58	0,54	31,55	31,51	0,24%	0,13%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,04	1,22	1,20	37,88	37,86	0,47%	0,42%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	4,63	2,86	2,80	125,85	125,79	-1,39%	-1,43%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,004	0,005	0,004	1,40	1,40	0,05%	0,03%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,24	0,29	0,28	11,75	11,74	0,39%	0,29%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,05	0,06	0,06	1,21	1,20	0,70%	0,40%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	5,75	6,85	6,76	-	-	19,12%	17,51%		

Tabella 24 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 75-89-91-93)

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			94			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,30	0,34	0,32	19,55	19,53	0,22%	0,11%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,49	0,55	0,52	31,53	31,50	0,20%	0,10%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,99	1,13	1,06	37,83	37,77	0,36%	0,18%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	5,18	6,27	5,75	128,72	128,19	0,86%	0,45%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,004	0,004	0,004	1,40	1,40	0,04%	0,00%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,22	0,26	0,24	11,74	11,72	0,28%	0,15%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,05	0,06	0,05	1,21	1,20	0,54%	0,05%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	5,19	5,96	5,86	-	-	14,86%	12,98%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			101			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,32	0,38	0,35	19,57	19,54	0,33%	0,17%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,48	0,58	0,58	31,58	31,58	0,34%	0,34%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,05	1,27	1,19	37,91	37,84	0,57%	0,37%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	5,76	6,83	6,26	128,69	128,12	0,84%	0,39%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,004	0,005	0,004	1,40	1,40	0,06%	0,02%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,24	0,29	0,27	11,76	11,73	0,42%	0,23%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,05	0,06	0,06	1,21	1,20	0,84%	0,37%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	5,74	6,93	6,55	-	-	20,79%	14,22%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			102			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,32	0,38	0,31	19,57	19,50	0,33%	-0,05%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,51	0,61	0,49	31,57	31,44	0,31%	-0,09%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,03	1,25	1,01	37,91	37,68	0,56%	-0,05%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	6,32	7,29	6,50	128,59	127,80	0,76%	0,14%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,004	0,005	0,004	1,40	1,40	0,06%	-0,02%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,24	0,29	0,23	11,75	11,70	0,41%	-0,05%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,05	0,06	0,05	1,21	1,20	0,83%	-0,21%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	5,68	6,85	5,68	-	-	20,48%	0,02%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			113			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,27	0,30	0,25	19,54	19,49	0,18%	-0,11%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,48	0,54	0,44	31,53	31,43	0,20%	-0,13%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,88	1,00	0,81	37,82	37,62	0,31%	-0,20%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	5,30	6,18	5,30	128,50	127,62	0,69%	0,00%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,003	0,004	0,003	1,40	1,40	0,03%	-0,02%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,20	0,23	0,19	11,73	11,69	0,22%	-0,14%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,04	0,05	0,04	1,21	1,20	0,45%	-0,36%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	4,85	5,48	4,53	-	-	12,98%	-6,72%		

Tabella 25 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 94-101-102-113)

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			118			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,38	0,43	0,42	19,56	19,55	0,25%	0,20%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,62	0,69	0,68	31,55	31,53	0,25%	0,19%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,29	1,46	1,41	37,87	37,81	0,44%	0,30%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	7,50	8,61	8,76	128,73	128,88	0,87%	0,99%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,005	0,005	0,005	1,40	1,40	0,04%	0,02%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,29	0,33	0,32	11,74	11,74	0,31%	0,27%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,06	0,07	0,07	1,21	1,20	0,65%	0,32%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	6,95	7,82	7,89	-	-	12,51%	13,50%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			120			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,37	0,40	0,41	19,54	19,55	0,18%	0,21%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,64	0,71	0,71	31,54	31,54	0,22%	0,21%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,22	1,34	1,35	37,82	37,83	0,32%	0,35%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	7,91	9,25	10,06	128,96	129,77	1,05%	1,69%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,004	0,005	0,005	1,40	1,40	0,03%	0,02%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,28	0,30	0,31	11,73	11,74	0,22%	0,27%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,06	0,06	0,06	1,21	1,20	0,47%	0,38%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	6,62	7,24	7,59	-	-	9,40%	14,60%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			131			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,17	0,19	0,19	19,53	19,52	0,08%	0,06%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,32	0,36	0,34	31,51	31,49	0,12%	0,07%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	0,56	0,61	0,60	37,75	37,74	0,14%	0,11%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	4,30	5,00	4,88	128,33	128,21	0,55%	0,46%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,002	0,002	0,002	1,40	1,40	0,01%	0,00%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,13	0,14	0,14	11,72	11,72	0,10%	0,08%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,03	0,03	0,03	1,20	1,20	0,21%	0,09%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	3,10	3,39	3,41	-	-	9,28%	10,23%		

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI									
				Valori rete monitoraggio ARPAT			136			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo		
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,36	0,38	0,39	19,54	19,54	0,13%	0,16%		
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,54	0,58	0,57	31,51	31,50	0,12%	0,09%		
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,12	1,20	1,21	37,78	37,80	0,22%	0,25%		
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	6,48	7,15	7,09	128,29	128,23	0,52%	0,48%		
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,004	0,004	0,004	1,40	1,40	0,02%	0,01%		
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,27	0,29	0,29	11,73	11,73	0,16%	0,21%		
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,05	0,06	0,06	1,20	1,20	0,33%	0,26%		
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF		
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	6,41	6,87	7,17	-	-	7,17%	11,98%		

Tabella 26 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 118-120-131-136)

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI							
				Valori rete monitoraggio ARPAT	139			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,39	0,41	0,42	19,54	19,54	0,13%	0,16%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,58	0,62	0,62	31,51	31,50	0,12%	0,10%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,23	1,31	1,33	37,78	37,80	0,23%	0,26%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	7,55	7,91	8,12	127,99	128,20	0,29%	0,45%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,005	0,005	0,005	1,40	1,40	0,02%	0,01%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,29	0,31	0,32	11,73	11,73	0,17%	0,22%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,06	0,06	0,06	1,20	1,20	0,34%	0,28%
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	6,97	7,44	7,77	-	-	6,70%	11,45%

n. ricettore				RISULTATI SIMULAZIONI							
				Valori rete monitoraggio ARPAT	146			Concentrazioni attese		Var. %	
Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	SDF	OPZ "0"	SDP	OPZ "0" (Fondo-SDF+OPZ "0")	SDP (Fondo-SDF+SDP)	OPZ "0" / Fondo	SDP / Fondo
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	19,51	0,39	0,42	0,42	19,53	19,54	0,13%	0,16%
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	31,47	0,67	0,70	0,73	31,50	31,52	0,10%	0,17%
NO ₂	Media annua	µg/m ³	40	37,70	1,38	1,47	1,49	37,79	37,81	0,23%	0,29%
	Massima concentrazione oraria (Percentile 99.8)	µg/m ³	200	127,62	8,51	9,29	9,38	128,40	128,49	0,61%	0,68%
CO	Massima media 8 ore	mg/m ³	10	1,40	0,005	0,005	0,005	1,40	1,40	0,02%	0,01%
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	11,71	0,30	0,32	0,32	11,72	11,73	0,16%	0,21%
C ₆ H ₆	Media annua	µg/m ³	5	1,20	0,07	0,07	0,07	1,20	1,20	0,34%	0,30%
										OPZ "0" / SDF	SDP / SDF
NO _x	Media annua	µg/m ³	-	-	7,05	7,49	7,84	-	-	6,28%	11,14%

Tabella 27 - Risultanze delle simulazioni e confronto con i limiti normativi (valori di concentrazione ai ricettori 139-146)

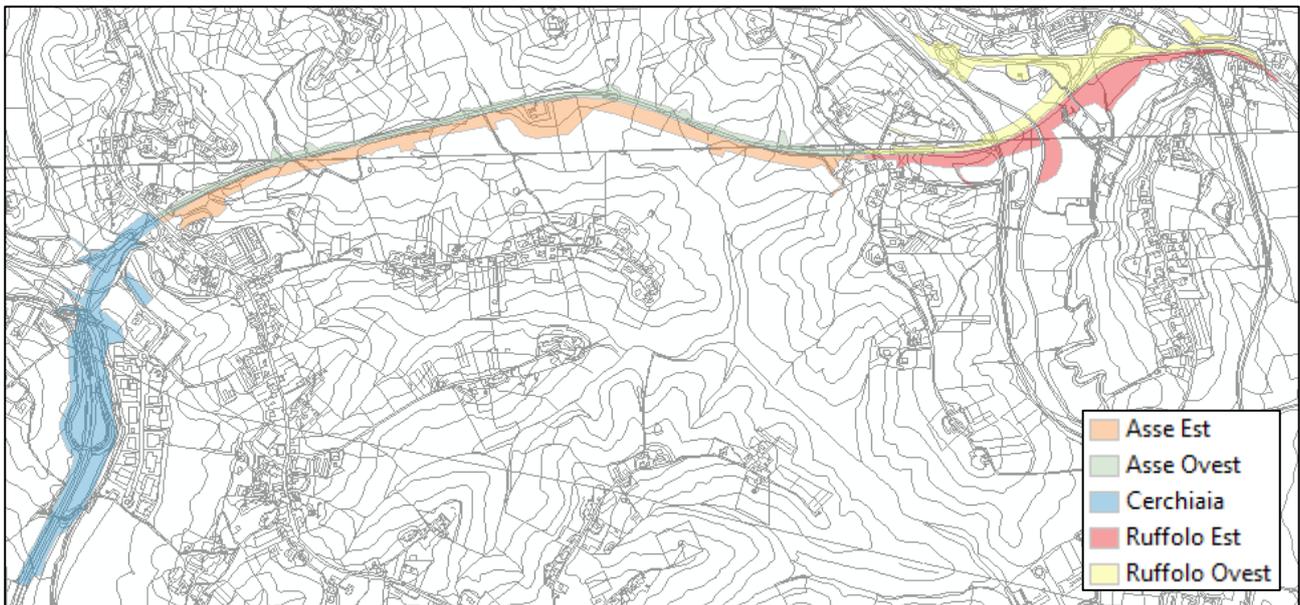
6 FASE DI CANTIERE

In merito agli impatti sulla qualità dell'aria durante la realizzazione del progetto, si svolgono di seguito le seguenti analisi:

- stima dei mezzi per il trasporto dei materiali;
- stima della produzione di polveri e di gas emessi in fase di cantiere al fine di valutarne la dispersione.

Coerentemente con quanto descritto nella Relazione di cantierizzazione (cfr. elaborato T00CA00CANRE01), l'area complessiva del cantiere è stata suddivisa nei seguenti 5 ambiti di intervento che, ai fini delle analisi sulla componente in esame, rappresentano le sorgenti emissive sulla base di cui saranno effettuate le simulazioni relative allo scenario di CO:

- svincolo Cerchiaia;
- asse principale Est;
- asse principale Ovest;
- svincolo Ruffolo Est;
- svincolo Ruffolo Ovest.



6.1 Stima mezzi di cantiere

Per il dettaglio della stima dei viaggi A/R dei mezzi di cantiere si rimanda alla Relazione di cantierizzazione. Nella tabella seguente si riportano i mezzi di cantiere aggiuntivi e la loro incidenza rispetto al Traffico Giornaliero Medio (TGM) dello stato di fatto; come si può osservare dai dati, l'incremento percentuale è minimo e tale da renderlo ininfluente dal punto di vista dell'impatto sulla componente.

	Cerchiaia	Asse_E	Asse_O	Ruffolo_E	Ruffolo_O
Media mezzi/giorno	133	75	59	79	96
Incidenza % sul TGM	0,54%	0,73%	0,57%	0,53%	0,63%

6.2 Stima delle emissioni

Per la stima delle emissioni è stato utilizzato il modello RCEM (*Road Construction Emission Model*; <http://www.airquality.org/>) che, sviluppato dal *Sacramento Metropolitan Air Quality Management District* ed aggiornato al 2019 (versione 9.0.0), si caratterizza per i seguenti vantaggi:

- è specificatamente pensato per attività di cantiere di tipo stradale;
- è stato sviluppato sulla base della metodologia e dei fattori di emissione implementati nel progetto AP-42 dell'EPA statunitense;
- implementa le metodologie EMFAC ed OFFROAD sviluppate da CARB (*California Air Resource Board* - <http://www.arb.ca.gov/homepage.htm>) e incluse tal quali in AP-42 di US-EPA;
- la versione utilizzata 9.0.0 include il database EMFAC2017 approvato dall'EPA nel 2019;
- utilizza fattori di emissione dinamici che cambiano, in base all'anno previsto delle attività e secondo quanto pianificato da EPA circa l'evoluzione dei limiti all'emissione, fino all'anno 2050.

Il modello RCEM prevede la stima di due tipi di emissione:

- esauste, prodotte dalla combustione nei veicoli a motore circolanti nell'area (camion di movimentazione terra alimentati a gasolio e macchine da cantiere) e dall'accesso all'area dei mezzi privati del personale impiegato nei cantieri;
- per il PM10 ed il PM2.5, risollevarimento di polveri generate dalle lavorazioni.

La valutazione delle emissioni esauste dell'attività di movimentazione materiali viene effettuata sulla base del numero e della lunghezza dei viaggi dei mezzi di trasporto materiali; questi ultimi sono intesi come materiali da costruzione in ingresso nel cantiere e materiali scavati in uscita dal cantiere per essere smaltiti. Le emissioni delle macchine da cantiere dipendono invece dal tipo e dalla durata dell'attività, oltre che dall'estensione del cantiere.

La stima delle emissioni da risollevarimento utilizza il dato di superficie massima coinvolta giornalmente dalle attività di cantiere.

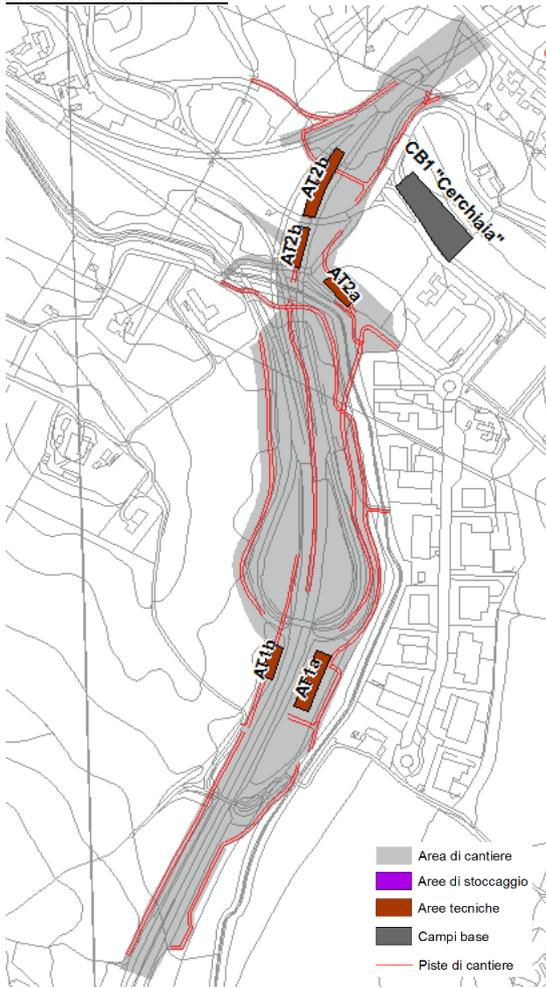
Le emissioni vengono valutate per diverse fasi dell'attività di cantiere:

- scotico (*Grubbing/Land Clearing*);
- scavo (*Grading/Excavation*);
- drenaggio e opere accessorie (*Drainage/Utilities/Sub-Grade*);
- pavimentazione (*Paving*).

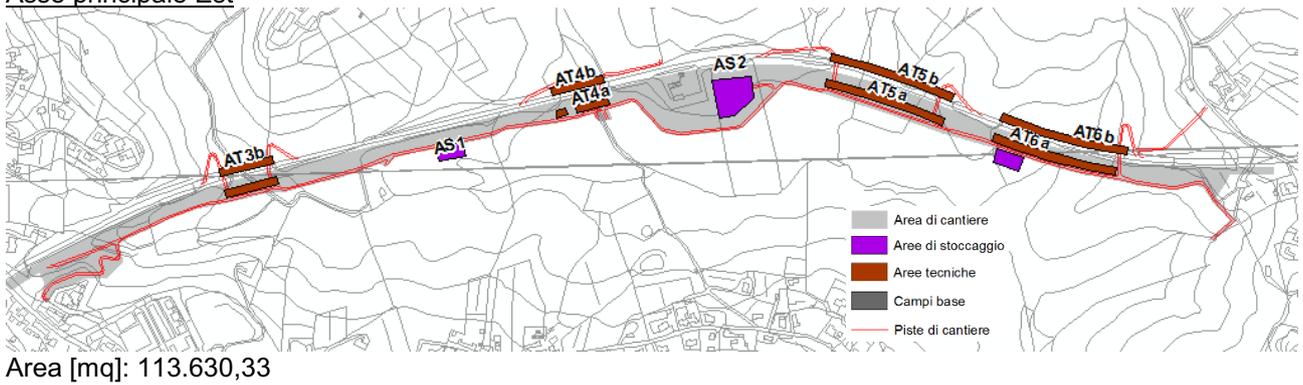
6.2.1 Dati di input

Le immagini e le tabelle riportate di seguito sono rappresentative dei principali dati che sono stati forniti al modello, per ciascuna delle 5 aree di intervento di cui si è detto; le informazioni ed i dati utilizzati sono stati desunti dalla Relazione di cantierizzazione (cfr. elaborato T00CA00CANRE01) e dalla Relazione tecnica di cui al Piano di Utilizzo terre e rocce da scavo (cfr. elaborato T00GE02GEORE01).

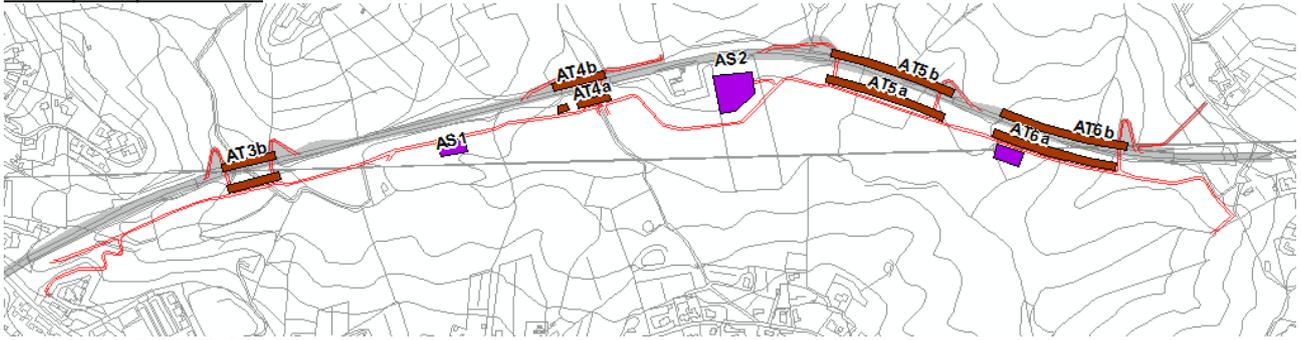
Svincolo Cerchiaia



Asse principale Est

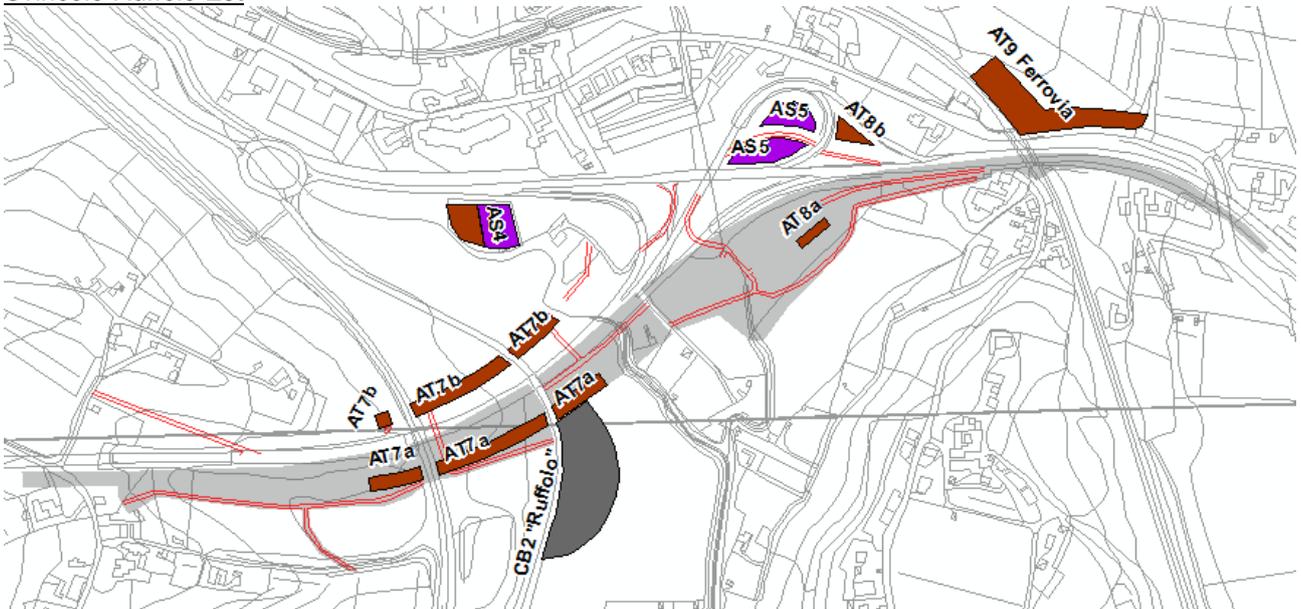


Asse principale Ovest



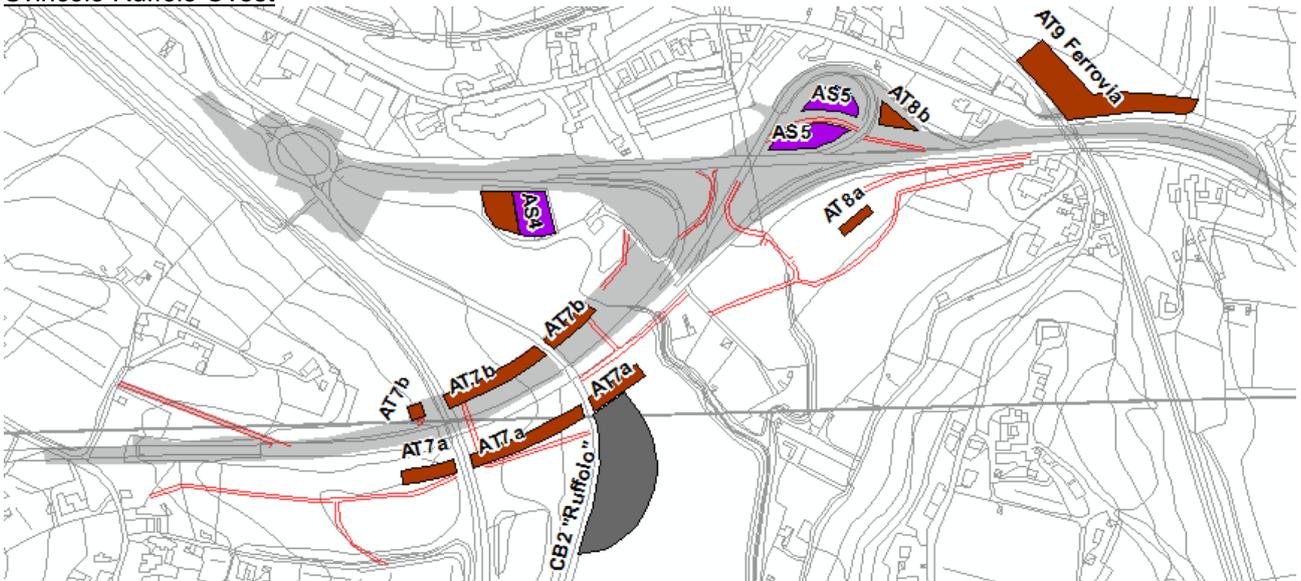
Area [mq]: 61.962,34

Svincolo Ruffolo Est



Area [mq]: 74.572,26

Svincolo Ruffolo Ovest



Area [mq]: 96.310,72

È stata presa in considerazione per ciascuna fase del cronoprogramma, l'attività più impattante dal punto di vista delle lavorazioni, forniture e flussi; in tabella si è riportato il dato (numero di giorni) relativo al tempo massimo di impiego delle piste per le fasi più critiche.

FASE	Cerchiaia	Asse_E	Asse_O	Ruffolo_E	Ruffolo_O
1	150	395	20	155	100
2	65	165	0	130	100
3	165	0	330	0	200
4	45	0	230	55	110
5	10	10	10	20	20
TOT	435	570	590	360	530

A seguire invece i quantitativi di materiale movimentato (in mc) all'interno ed all'esterno del cantiere (dati ottenuti analizzando tutte le categorie di materiale inserite nel computo metrico estimativo dell'intero progetto e ridistribuendole per le 5 aree individuate a seconda della competenza e delle WBS indicate); nella tabella successiva si riporta il dato medio relativo ai viaggi/giorno dei mezzi.

mc	Cerchiaia	Asse_E	Asse_O	Ruffolo_E	Ruffolo_O
CLS	49.912,29	56.193,28	55.493,92	22.857,34	37.854,97
Scavo	267.932,48	177.961,36	132.969,60	93.699,75	229.328,93
Forniture (terre)	76.020,00	57.156,69	2.350,84	73.234,58	111.891,00
Forniture (pregiati)	25.441,00	13.474,00	11.931,00	12.334,00	16.015,00
Demolizioni (discarica)	28.477,50	8.194,50	37.830,00	22.339,50	9.097,50
Forniture (neri e bitumi)	9.711,71	5.127,99	5.171,62	3.455,45	6.355,82
TOT	457.494,98	318.107,82	245.746,97	227.920,63	410.543,23

	Cerchiaia	Asse_E	Asse_O	Ruffolo_E	Ruffolo_O
Media viaggi/giorno	133	75	59	79	96

6.2.2 Risultati della stima delle emissioni

In relazione alla natura delle sorgenti possono essere individuati, quali indicatori del potenziale impatto delle stesse sulla qualità dell'aria, le polveri (PM10 e PM2.5) e gli ossidi di azoto (NOX); si è pertanto proceduto, attraverso il modello RCEM, ad effettuare la stima delle emissioni degli inquinanti citati per ciascuna area individuata e per ciascuna delle fasi considerate dal modello stesso (scotico, scavo, drenaggio ed opere accessorie, pavimentazione).

La metodologia seguita per la definizione delle sorgenti da considerare nelle successive simulazioni, presenti durante la fase di cantiere dell'opera in esame è stata 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"; nel caso specifico, per tutte e cinque le aree di intervento in esame, la fase maggiormente critica in termini di carico emissivo è risultata essere quella relativa alle attività di scavo.

Di seguito, si riportano i risultati del modello in cui sono evidenziati i valori rappresentativi della fase di scavo (dati in libbre/giorno).

Daily Emission Estimates for -> Cerchiaia			
Project Phases (Pounds)	NOx (lbs/day)	PM 10 (lbs/day)	PM 2.5 (lbs/day)
Grubbing/Land Clearing	3,04	70,20	14,72
Grading/Excavation	11,82	70,60	15,01
Drainage/Utilities/Sub-Grade	6,26	70,37	14,85
Paving	3,92	0,25	0,19
Maximum (pounds/day)	11,82	70,60	15,01
Total (tons/construction project)	1,29	9,89	2,10

Daily Emission Estimates for -> Asse_E			
Project Phases (Pounds)	NOx (lbs/day)	PM 10 (lbs/day)	PM 2.5 (lbs/day)
Grubbing/Land Clearing	3,04	56,20	11,81
Grading/Excavation	9,93	56,55	12,07
Drainage/Utilities/Sub-Grade	5,98	56,36	11,94
Paving	3,62	0,24	0,19
Maximum (pounds/day)	9,93	56,55	12,07
Total (tons/construction project)	1,44	10,03	2,14

Daily Emission Estimates for -> Asse_O			
Project Phases (Pounds)	NOx (lbs/day)	PM 10 (lbs/day)	PM 2.5 (lbs/day)
Grubbing/Land Clearing	3,04	30,20	6,40
Grading/Excavation	8,96	30,52	6,65
Drainage/Utilities/Sub-Grade	6,25	30,37	6,53
Paving	3,63	0,24	0,19
Maximum (pounds/day)	8,96	30,52	6,65
Total (tons/construction project)	1,46	5,70	1,24

Daily Emission Estimates for -> Ruffolo_E			
Project Phases (Pounds)	NOx (lbs/day)	PM 10 (lbs/day)	PM 2.5 (lbs/day)
Grubbing/Land Clearing	2,10	36,14	7,60
Grading/Excavation	9,10	36,49	7,86
Drainage/Utilities/Sub-Grade	5,01	36,30	7,72
Paving	2,79	0,18	0,14
Maximum (pounds/day)	9,10	36,49	7,86
Total (tons/construction project)	0,79	4,08	0,87

Daily Emission Estimates for -> Ruffolo_O			
Project Phases (Pounds)	NOx (lbs/day)	PM 10 (lbs/day)	PM 2.5 (lbs/day)
Grubbing/Land Clearing	3,99	48,26	10,20
Grading/Excavation	11,86	48,64	10,47
Drainage/Utilities/Sub-Grade	6,74	48,42	10,32
Paving	4,64	0,31	0,24
Maximum (pounds/day)	11,86	48,64	10,47
Total (tons/construction project)	1,62	8,17	1,75

Di seguito, il quadro riassuntivo dei dati attinenti alla sola fase di scavo (valori trasformati in tonnellate/giorno).

ton/day	NOX	PM10	PM25
cerchiaia	0,006	0,035	0,008
asse_e	0,005	0,028	0,006
asse_o	0,004	0,015	0,003
ruffolo_e	0,005	0,018	0,004
ruffolo_o	0,006	0,024	0,005

6.3 Modellazione della dispersione degli inquinanti

Le analisi proposte di seguito sono effettuate con l'ausilio del software ARIA Impact™ che - ricevuti come dati in ingresso le emissioni calcolate dal modello RCEM - fornisce i valori di concentrazione degli inquinanti in atmosfera generati dalle attività di cantiere; il software è il medesimo utilizzato per le valutazioni della fase di esercizio e descritto al paragrafo 5.2. Si ricorda che le equazioni di base del modello gaussiano sono quelle classiche che descrivono la dispersione rettilinea di un pennacchio in condizioni stazionarie. Tali equazioni, con alcune modifiche, sono usate per trattare diverse tipologie di sorgenti, classificabili in tre categorie principali: sorgenti di tipo puntiforme, sorgenti di tipo areale e sorgenti di tipo lineare; le attività di cantiere in esame sono state introdotte nel modello di dispersione come sorgente di tipo areale. L'algoritmo modellistico attiva, in situazioni di calma di vento ($vv < 1\text{m/s}$ - limite di validità della formula gaussiana classica), l'equazione del modello gaussiano a puff.

Poiché le simulazioni sono state condotte con cadenza oraria all'interno di un periodo di durata annuale, è stato possibile calcolare su ogni punto del grigliato al suolo statistiche di concentrazione confrontabili con gli standard di legge. La stazione di riferimento per i valori di fondo e quella per la caratterizzazione meteorologica sono le medesime di cui ai precedenti capitoli, rispettivamente quella di SI-Bracci e la quella di Monteroni d'Arbia Biena (parametri meteorologici rappresentativi dell'anno 2019).

I macroinquinanti di cui sono stati stimati i livelli di qualità dell'aria sono PM10, PM2.5 ed NOX.

Inquinante	Indicatore	U.M.	Limite normativo	Periodo di mediazione	Valori rete monitoraggio ARPAT	
					Media anni 2015-2016-2017-2018-2019	Centralina
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	40	anno civile	19,51	SI-Bracci
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	50	24 ore	31,47	SI-Bracci
NO _x (1)	Media annua	µg/m ³	40	anno civile	37,70	SI-Bracci
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	25	anno civile	11,71	(2)

(1) Gli NOX sono stati considerati come se fossero costituiti interamente da NO2 (ipotesi maggiormente cautelativa, ancorché poco probabile), in modo da poter effettuare il confronto con il limite normativo annuale per la protezione della salute umana individuato per il biossido di azoto.

(2) Essendo il dato del PM2.5 mancante poiché non registrato dalla centralina di riferimento, questo è stato ottenuto applicando il rapporto secondo cui convenzionalmente il PM2.5 è il 60% del PM10.

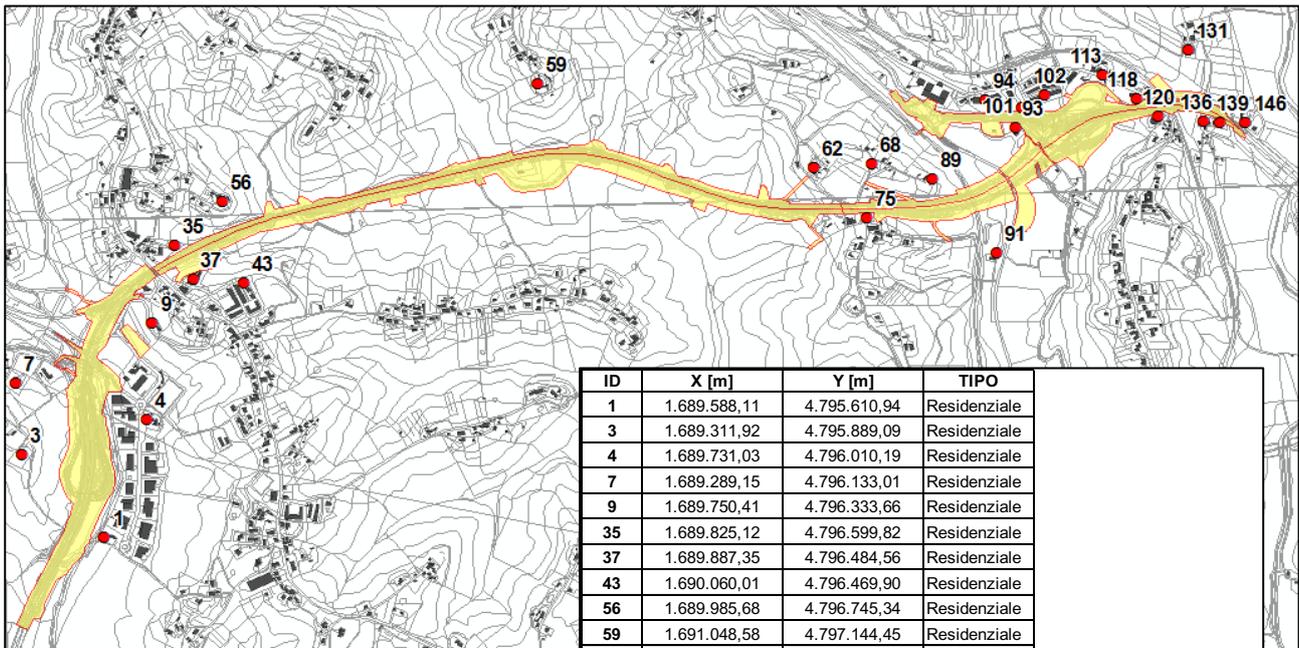
6.4 Risultati delle simulazioni per lo scenario in CO

Le simulazioni condotte evidenziano l'evoluzione attesa delle concentrazioni di inquinanti sul territorio interessato dalle attività di realizzazione dell'intervento; negli elaborati cartografici allegati al presente documento, sono rappresentate le planimetrie di dispersione degli inquinanti (mappe di isoconcentrazione) generate dalle modellazioni:

- T00IA45AMBCT25, Mappa concentrazioni fase di cantiere - PM10 e PM10 percentile 90.4;
- T00IA45AMBCT26, Mappa concentrazioni fase di cantiere - PM2.5 e NOX.

L'area di calcolo individuata ha una estensione di circa 11 kmq, con 4.416 celle di calcolo di lato 50 metri.

La figura seguente è invece rappresentativa della localizzazione dei diversi ricettori presenti nel comparto territoriale indagato, in corrispondenza di cui sono state condotte le valutazioni (cfr. allegato T00IA45AMBPL01, Planimetria dei ricettori e delle sorgenti emissive); si tratta dei 26 ricettori già individuati al paragrafo 5.2.3, selezionati da quelli censiti nell'ambito della redazione dello studio acustico a cui si rimanda per maggiori approfondimenti circa la loro caratterizzazione (si veda in particolare l'elaborato T00IA46AMBSC01- Schede di censimento dei ricettori acustici).



ID	X [m]	Y [m]	TIPO
1	1.689.588,11	4.795.610,94	Residenziale
3	1.689.311,92	4.795.889,09	Residenziale
4	1.689.731,03	4.796.010,19	Residenziale
7	1.689.289,15	4.796.133,01	Residenziale
9	1.689.750,41	4.796.333,66	Residenziale
35	1.689.825,12	4.796.599,82	Residenziale
37	1.689.887,35	4.796.484,56	Residenziale
43	1.690.060,01	4.796.469,90	Residenziale
56	1.689.985,68	4.796.745,34	Residenziale
59	1.691.048,58	4.797.144,45	Residenziale
62	1.691.976,55	4.796.860,12	Residenziale
68	1.692.171,75	4.796.874,15	Residenziale
75	1.692.154,78	4.796.690,84	Residenziale
89	1.692.376,64	4.796.823,85	Residenziale
91	1.692.592,93	4.796.574,71	Residenziale
93	1.692.654,40	4.796.996,46	Residenziale
94	1.692.552,88	4.797.091,83	Altro
101	1.692.677,19	4.797.066,75	Residenziale
102	1.692.753,58	4.797.106,05	Residenziale
113	1.692.946,75	4.797.176,02	Residenziale
118	1.693.063,69	4.797.093,11	Residenziale
120	1.693.136,15	4.797.036,88	Residenziale
131	1.693.235,39	4.797.262,02	Residenziale
136	1.693.287,55	4.797.018,22	Residenziale
139	1.693.341,28	4.797.014,59	Residenziale
146	1.693.429,71	4.797.013,44	Residenziale

ID: cfr. censimento ricettori studio acustico

Coordinate (X, Y): sistema di riferimento Monte Mario Italy 1 (EPSG 3003)

Altro: sede del dipartimento di Siena di ARPA Toscana e del dipartimento di prevenzione dell'ASL

Di seguito, si riportano gli esiti della simulazione condotta per la fase di cantiere, ovverosia i valori calcolati dal modello rappresentativi sia delle concentrazioni medie che di quelle massime del dominio di analisi per ciascuna specie simulata; osservando i dati, in particolare quelli attinenti ai massimi di griglia, emerge come gli incrementi stimati siano significati, seppur non tali da generare superamenti dei limiti di legge. I valori di concentrazione maggiori si registrano per il PM10, con riferimento sia al dato giornaliero che annuo.

Inquinante	Indicatore	U.M.	RISULTATI SIMULAZIONI				
			Valori rete monitoraggio ARPAT		Concentrazioni massime	Concentrazioni attese	Limite normativo
			Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	Corso d'opera			
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	19,51	7,65	27,16	40	
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	31,47	16,86	48,33	50	
NOX	Media annua	µg/m ³	37,70	1,97	39,67	40*	
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	11,71	1,69	13,39	25	

Inquinante	Indicatore	U.M.	RISULTATI SIMULAZIONI				
			Valori rete monitoraggio ARPAT		Concentrazioni medie	Concentrazioni attese	Limite normativo
			Media anni 2015-2016-2017-2018-2019 (Fondo)	Corso d'opera			
PM ₁₀	Media annua	µg/m ³	19,51	0,77	20,28	40	
	Media giornaliera (Percentile 90.4)	µg/m ³	31,47	1,86	33,33	50	
NOX	Media annua	µg/m ³	37,70	0,18	37,88	40*	
PM _{2,5}	Media annua	µg/m ³	11,71	0,18	11,88	25	

* Si ricorda che gli NOX sono stati considerati come se fossero costituiti interamente da NO₂ (ipotesi maggiormente cautelativa, ancorché poco probabile), in modo da poter effettuare il confronto con il limite normativo annuale per la protezione della salute umana individuato per il biossido di azoto.

Di seguito, si riportano infine i risultati ai ricettori; come si può osservare, le maggiori concentrazioni di polveri si rilevano nelle aree contermini alla galleria San Lazzerò ed in corrispondenza dell'abitato di Ruffolo.

Zona	ID ricettore	X [m]	Y [m]	TIPO	Risultati	Conc. attese	Var. %
					PM10 [µg/m3]	PM10 [µg/m3]	%
Cerchiaia	1	1.689.588,11	4.795.610,94	Residenziale	2,537	22,047	13,01%
Cerchiaia	3	1.689.311,92	4.795.889,09	Residenziale	1,147	20,657	5,88%
Cerchiaia	4	1.689.731,03	4.796.010,19	Residenziale	1,836	21,346	9,41%
Cerchiaia	7	1.689.289,15	4.796.133,01	Residenziale	0,939	20,449	4,81%
Galleria San Lazzero	9	1.689.750,41	4.796.333,66	Residenziale	2,912	22,422	14,93%
Galleria San Lazzero	35	1.689.825,12	4.796.599,82	Residenziale	3,488	22,998	17,88%
Galleria San Lazzero	37	1.689.887,35	4.796.484,56	Residenziale	1,797	21,307	9,21%
Asse principale	43	1.690.060,01	4.796.469,90	Residenziale	1,031	20,541	5,29%
Asse principale	56	1.689.985,68	4.796.745,34	Residenziale	2,124	21,634	10,89%
Asse principale	59	1.691.048,58	4.797.144,45	Residenziale	1,225	20,735	6,28%
Galleria Bucciano	62	1.691.976,55	4.796.860,12	Residenziale	1,709	21,219	8,76%
Galleria Bucciano	68	1.692.171,75	4.796.874,15	Residenziale	1,608	21,118	8,24%
Galleria Bucciano	75	1.692.154,78	4.796.690,84	Residenziale	1,248	20,758	6,40%
Ruffolo	89	1.692.376,64	4.796.823,85	Residenziale	2,673	22,183	13,70%
Ruffolo	91	1.692.592,93	4.796.574,71	Residenziale	0,634	20,144	3,25%
Ruffolo	93	1.692.654,40	4.796.996,46	Residenziale	3,944	23,454	20,22%
Abitato Ruffolo	94	1.692.552,88	4.797.091,83	Altro	4,811	24,321	24,66%
Abitato Ruffolo	101	1.692.677,19	4.797.066,75	Residenziale	5,447	24,957	27,92%
Abitato Ruffolo	102	1.692.753,58	4.797.106,05	Residenziale	4,074	23,584	20,88%
Abitato Ruffolo	113	1.692.946,75	4.797.176,02	Residenziale	3,927	23,437	20,13%
Abitato Ruffolo	118	1.693.063,69	4.797.093,11	Residenziale	4,515	24,025	23,14%
Ruffolo	120	1.693.136,15	4.797.036,88	Residenziale	3,038	22,548	15,57%
Ruffolo	131	1.693.235,39	4.797.262,02	Residenziale	1,139	20,649	5,84%
Ruffolo	136	1.693.287,55	4.797.018,22	Residenziale	1,544	21,054	7,92%
Ruffolo	139	1.693.341,28	4.797.014,59	Residenziale	1,457	20,967	7,47%
Ruffolo	146	1.693.429,71	4.797.013,44	Residenziale	1,323	20,833	6,78%
FONDO					19,51	Limite 40	

Zona	ID ricettore	X [m]	Y [m]	TIPO	Risultati	Conc. attese	Var. %
					PM10 - perc. 90.4 [µg/m3]	PM10 - perc. 90.4 [µg/m3]	%
Cerchiaia	1	1.689.588,11	4.795.610,94	Residenziale	5,716	37,186	18,16%
Cerchiaia	3	1.689.311,92	4.795.889,09	Residenziale	2,700	34,170	8,58%
Cerchiaia	4	1.689.731,03	4.796.010,19	Residenziale	4,193	35,663	13,32%
Cerchiaia	7	1.689.289,15	4.796.133,01	Residenziale	2,435	33,905	7,74%
Galleria San Lazzero	9	1.689.750,41	4.796.333,66	Residenziale	6,218	37,688	19,76%
Galleria San Lazzero	35	1.689.825,12	4.796.599,82	Residenziale	7,824	39,294	24,86%
Galleria San Lazzero	37	1.689.887,35	4.796.484,56	Residenziale	3,686	35,156	11,71%
Asse principale	43	1.690.060,01	4.796.469,90	Residenziale	2,137	33,607	6,79%
Asse principale	56	1.689.985,68	4.796.745,34	Residenziale	5,097	36,567	16,20%
Asse principale	59	1.691.048,58	4.797.144,45	Residenziale	2,987	34,457	9,49%
Galleria Bucciano	62	1.691.976,55	4.796.860,12	Residenziale	3,707	35,177	11,78%
Galleria Bucciano	68	1.692.171,75	4.796.874,15	Residenziale	3,581	35,051	11,38%
Galleria Bucciano	75	1.692.154,78	4.796.690,84	Residenziale	2,922	34,392	9,29%
Ruffolo	89	1.692.376,64	4.796.823,85	Residenziale	5,924	37,394	18,82%
Ruffolo	91	1.692.592,93	4.796.574,71	Residenziale	1,666	33,136	5,29%
Ruffolo	93	1.692.654,40	4.796.996,46	Residenziale	8,294	39,764	26,35%
Abitato Ruffolo	94	1.692.552,88	4.797.091,83	Altro	11,136	42,606	35,39%
Abitato Ruffolo	101	1.692.677,19	4.797.066,75	Residenziale	12,414	43,884	39,45%
Abitato Ruffolo	102	1.692.753,58	4.797.106,05	Residenziale	9,944	41,414	31,60%
Abitato Ruffolo	113	1.692.946,75	4.797.176,02	Residenziale	9,471	40,941	30,10%
Abitato Ruffolo	118	1.693.063,69	4.797.093,11	Residenziale	9,607	41,077	30,53%
Ruffolo	120	1.693.136,15	4.797.036,88	Residenziale	6,625	38,095	21,05%
Ruffolo	131	1.693.235,39	4.797.262,02	Residenziale	2,887	34,357	9,17%
Ruffolo	136	1.693.287,55	4.797.018,22	Residenziale	3,630	35,100	11,54%
Ruffolo	139	1.693.341,28	4.797.014,59	Residenziale	3,381	34,851	10,75%
Ruffolo	146	1.693.429,71	4.797.013,44	Residenziale	3,331	34,801	10,58%
FONDO					31,47	Limite 50	

ID: cfr. censimento ricettori studio acustico
Coordinate (X, Y): sistema di riferimento Monte Mario Italy 1 (EPSG 3003)
Altro: sede del dipartimento di Siena di ARPA Toscana e del dipartimento di prevenzione dell'ASL

Zona	ID ricettore	X [m]	Y [m]	TIPO	Risultati	Conc. attese	Var. %
					PM2.5 [µg/m3]	PM2.5 [µg/m3]	%
Cerchiaia	1	1.689.588,11	4.795.610,94	Residenziale	0,552	12,262	4,71%
Cerchiaia	3	1.689.311,92	4.795.889,09	Residenziale	0,257	11,967	2,19%
Cerchiaia	4	1.689.731,03	4.796.010,19	Residenziale	0,409	12,119	3,49%
Cerchiaia	7	1.689.289,15	4.796.133,01	Residenziale	0,213	11,923	1,82%
Galleria San Lazzero	9	1.689.750,41	4.796.333,66	Residenziale	0,642	12,352	5,48%
Galleria San Lazzero	35	1.689.825,12	4.796.599,82	Residenziale	0,772	12,482	6,59%
Galleria San Lazzero	37	1.689.887,35	4.796.484,56	Residenziale	0,403	12,113	3,44%
Asse principale	43	1.690.060,01	4.796.469,90	Residenziale	0,235	11,945	2,01%
Asse principale	56	1.689.985,68	4.796.745,34	Residenziale	0,478	12,188	4,08%
Asse principale	59	1.691.048,58	4.797.144,45	Residenziale	0,282	11,992	2,41%
Galleria Bucciano	62	1.691.976,55	4.796.860,12	Residenziale	0,389	12,099	3,32%
Galleria Bucciano	68	1.692.171,75	4.796.874,15	Residenziale	0,366	12,076	3,13%
Galleria Bucciano	75	1.692.154,78	4.796.690,84	Residenziale	0,283	11,993	2,42%
Ruffolo	89	1.692.376,64	4.796.823,85	Residenziale	0,599	12,309	5,11%
Ruffolo	91	1.692.592,93	4.796.574,71	Residenziale	0,145	11,855	1,23%
Ruffolo	93	1.692.654,40	4.796.996,46	Residenziale	0,881	12,591	7,52%
Abitato Ruffolo	94	1.692.552,88	4.797.091,83	Altro	1,069	12,779	9,13%
Abitato Ruffolo	101	1.692.677,19	4.797.066,75	Residenziale	1,209	12,919	10,32%
Abitato Ruffolo	102	1.692.753,58	4.797.106,05	Residenziale	0,912	12,622	7,79%
Abitato Ruffolo	113	1.692.946,75	4.797.176,02	Residenziale	0,878	12,588	7,50%
Abitato Ruffolo	118	1.693.063,69	4.797.093,11	Residenziale	1,002	12,712	8,56%
Ruffolo	120	1.693.136,15	4.797.036,88	Residenziale	0,678	12,388	5,79%
Ruffolo	131	1.693.235,39	4.797.262,02	Residenziale	0,262	11,972	2,24%
Ruffolo	136	1.693.287,55	4.797.018,22	Residenziale	0,349	12,059	2,98%
Ruffolo	139	1.693.341,28	4.797.014,59	Residenziale	0,329	12,039	2,81%
Ruffolo	146	1.693.429,71	4.797.013,44	Residenziale	0,298	12,008	2,55%
FONDO					11,71	Limite 25	

Zona	ID ricettore	X [m]	Y [m]	TIPO	Risultati	Conc. attese	Var. %
					NOX [µg/m3]	NOX [µg/m3]	%
Cerchiaia	1	1.689.588,11	4.795.610,94	Residenziale	0,449	38,15	1,19%
Cerchiaia	3	1.689.311,92	4.795.889,09	Residenziale	0,218	37,92	0,58%
Cerchiaia	4	1.689.731,03	4.796.010,19	Residenziale	0,342	38,04	0,91%
Cerchiaia	7	1.689.289,15	4.796.133,01	Residenziale	0,185	37,88	0,49%
Galleria San Lazzero	9	1.689.750,41	4.796.333,66	Residenziale	0,533	38,23	1,41%
Galleria San Lazzero	35	1.689.825,12	4.796.599,82	Residenziale	0,753	38,45	2,00%
Galleria San Lazzero	37	1.689.887,35	4.796.484,56	Residenziale	0,360	38,06	0,95%
Asse principale	43	1.690.060,01	4.796.469,90	Residenziale	0,221	37,92	0,59%
Asse principale	56	1.689.985,68	4.796.745,34	Residenziale	0,491	38,19	1,30%
Asse principale	59	1.691.048,58	4.797.144,45	Residenziale	0,301	38,00	0,80%
Galleria Bucciano	62	1.691.976,55	4.796.860,12	Residenziale	0,445	38,15	1,18%
Galleria Bucciano	68	1.692.171,75	4.796.874,15	Residenziale	0,427	38,13	1,13%
Galleria Bucciano	75	1.692.154,78	4.796.690,84	Residenziale	0,324	38,02	0,86%
Ruffolo	89	1.692.376,64	4.796.823,85	Residenziale	0,702	38,40	1,86%
Ruffolo	91	1.692.592,93	4.796.574,71	Residenziale	0,170	37,87	0,45%
Ruffolo	93	1.692.654,40	4.796.996,46	Residenziale	1,037	38,74	2,75%
Abitato Ruffolo	94	1.692.552,88	4.797.091,83	Altro	1,248	38,95	3,31%
Abitato Ruffolo	101	1.692.677,19	4.797.066,75	Residenziale	1,413	39,11	3,75%
Abitato Ruffolo	102	1.692.753,58	4.797.106,05	Residenziale	1,075	38,78	2,85%
Abitato Ruffolo	113	1.692.946,75	4.797.176,02	Residenziale	1,033	38,73	2,74%
Abitato Ruffolo	118	1.693.063,69	4.797.093,11	Residenziale	1,180	38,88	3,13%
Ruffolo	120	1.693.136,15	4.797.036,88	Residenziale	0,804	38,50	2,13%
Ruffolo	131	1.693.235,39	4.797.262,02	Residenziale	0,316	38,02	0,84%
Ruffolo	136	1.693.287,55	4.797.018,22	Residenziale	0,417	38,12	1,11%
Ruffolo	139	1.693.341,28	4.797.014,59	Residenziale	0,392	38,09	1,04%
Ruffolo	146	1.693.429,71	4.797.013,44	Residenziale	0,354	38,05	0,94%
FONDO					37,70	Limite 40	

ID: cfr. censimento ricettori studio acustico
Coordinate (X, Y): sistema di riferimento Monte Mario Italy 1 (EPSG 3003)
Altro: sede del dipartimento di Siena di ARPA Toscana e del dipartimento di prevenzione dell'ASL

6.5 Mitigazioni fase di cantiere

Il presente paragrafo è redatto in conformità con le *Linee guida per la gestione dei cantieri ai fini della protezione ambientale* di ARPA Toscana (2018). Le mitigazioni necessarie da applicare si identificano principalmente con attività gestionali (corretta gestione del cantiere) e con l'applicazione di tutte le note buone pratiche. In particolare, in relazione alle polveri generate dalle attività costruttive e dalla movimentazione dei mezzi si prevede l'adozione delle seguenti mitigazioni:

- effettuare una costante e periodica bagnatura o pulizia delle strade utilizzate, pavimentate e non;
- pulire le ruote dei veicoli in uscita dal cantiere e dalle aree di approvvigionamento e conferimento materiali, prima che i mezzi impegnino la viabilità ordinaria;
- coprire con teloni i materiali polverulenti trasportati;
- attuare idonea limitazione della velocità dei mezzi sulle strade di cantiere non asfaltate (tipicamente 20 km/h);
- bagnare periodicamente o coprire con teli (nei periodi di inattività e durante le giornate con vento intenso) i cumuli di materiale polverulento stoccato nelle aree di cantiere;
- procedere al rinverdimento delle aree (ad esempio i rilevati) in cui siano già terminate le lavorazioni senza aspettare la fine lavori dell'intero progetto.
- durante la demolizione delle strutture edili provvedere alla bagnatura dei manufatti al fine di minimizzare la formazione e la diffusione di polveri;
- evitare le demolizioni e le movimentazioni di materiali polverulenti durante le giornate con vento intenso.

Si evidenzia che la modalità prevista per la decostruzione degli impalcati consente un quasi totale abbattimento delle emissioni di polveri; la scelta di effettuare tagli selettivi longitudinali e trasversali, e trasportare a discarica conci interi di impalcato, riduce alla fonte la quantità di polveri prodotte.

In concomitanza delle aree maggiormente critiche dal punto di vista emissivo (in corrispondenza della galleria San Lazzerò e dello svincolo di Ruffolo), sono state collocate barriere antirumore mobili di cantiere, con pannelli H = 3 m per 300 m di lunghezza per le aree di lavoro presso la Galleria San Lazzerò, con pannelli H = 3 m per 450 m di lunghezza per le aree di lavoro presso lo svincolo di Ruffolo; tali barriere, seppur previste per il contenimento delle emissioni sonore, sono in grado di agire anche come reti antipolvere e pertanto di:

- ridurre la velocità del vento ed il suo conseguente potere erosivo e di risollevarimento nelle aree di attività;
- evitare la diffusione delle polveri, soprattutto di quelle grossolane, all'esterno del cantiere.

Per la valutazione della ventosità, al fine di modulare le misure di mitigazione, può essere consultato il bollettino di allerta meteorologico emesso dal Centro Funzionale della Regione Toscana (www.regione.toscana.it/allerta-meteo-rischio-vento), per la zona che ricomprende le aree in cui devono essere svolte le lavorazioni, e definita una procedura di modulazione delle misure di mitigazione nei giorni in cui il bollettino preveda un "rischio vento" di una qualche entità ovvero una situazione diversa da quella verde/nessuna criticità/normalità (cioè corrispondente ai colori/avvisi: giallo/vigilanza, arancio/allerta, rosso/allarme).

Ai fini del contenimento delle emissioni, i veicoli a servizio dei cantieri devono essere omologati con emissioni rispettose delle seguenti normative europee (o più recenti):

- veicoli commerciali leggeri (massa inferiore a 3,5 t, classificati N1 secondo il Codice della strada): Direttiva 1998/69/EC, Stage 2000 (Euro 3);
- veicoli commerciali pesanti (massa superiore a 3,5 t, classificati N2 e N3 secondo il Codice della strada): Direttiva 1999/96/EC, Stage I (Euro III);
- macchinari mobili equipaggiati con motore diesel (non-road mobile sources and machinery, NRMM: elevatori, gru, escavatori, bulldozer, trattori, ecc.): Direttiva 1997/68/EC, Stage I.

In ultima analisi, in ordine alla possibilità di mitigare l'emissione di polveri dai cantieri attraverso la bagnatura delle strade di cantiere non asfaltate, si riporta di seguito quanto indicato dalle *Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti*, redatte da ARPA Toscana.

L'efficienza di abbattimento delle polveri col sistema di bagnatura dipende dalla frequenza delle applicazioni e dalla quantità d'acqua per unità di superficie impiegata in ogni trattamento, in relazione al traffico medio orario ed al potenziale medio di evaporazione giornaliera del sito.

Utilizzando la formula proposta da Cowherd (1998) si ha:

$$C(\%) = 100 - (0.8 \cdot P \cdot trh \cdot \tau) / I$$

ove:

C : efficienza di abbattimento del bagnamento (%)

P : potenziale medio dell'evaporazione giornaliera (mm/h)

trh : traffico medio orario (h⁻¹)

I : quantità media del trattamento applicato (l/m³)

τ : intervallo di tempo che intercorre tra le applicazioni

e considerando le seguenti grandezze:

- P = 0.34 mm/h per il periodo primaverile/autunnale e P = 0.50 mm/h per il periodo estivo
- trh > 10

si ha:

Intervallo di tempo in ore		Efficienza abbattimento [%]		
		75	85	95
Quantità media del trattamento applicato (l/m ²)	0,1	1	0.5	0.5
	0,2	2	1	0.5
	0,5	4	3	1
	1	8	5	2
	2	17	10	3

Tab. 1: P = 0.34 mm/h

Intervallo di tempo in ore		Efficienza abbattimento [%]		
		75	85	95
Quantità media del trattamento applicato (l/m ²)	0,1	0.5	0.5	0.5
	0,2	1	0.5	0.5
	0,5	3	2	0.5
	1	6	3	1
	2	11	7	2

Tab. 2: P = 0.50 mm/h

Si riporta di seguito il percorso massimo in metri che un autobotte può coprire nell'ipotesi in cui la sua capacità sia compresa nell'intervallo 10-18 m³ e la sua larghezza di bagnatura operativa sia 4 m.

Percorso in metri autobotte		Capacità autobotte [litri]				
		10000	12000	14000	16000	18000
Quantità media del trattamento applicato (l/m ²)	0,1	25000	30000	35000	40000	45000
	0,2	12500	15000	17500	20000	22500
	0,5	5000	6000	7000	8000	9000
	1	2500	3000	3500	4000	4500
	2	1250	1500	1750	2000	2250

Pertanto, in condizioni estive (le più sfavorevoli) e con un'efficienza di abbattimento dell'85%, si ricava che le 3 ore, rappresentano un tempo operativo sufficiente al mezzo per effettuare il percorso di andata e ritorno e caricare nuovamente acqua. Indicativamente si può considerare valida l'ipotesi di assumere come indice di operatività dell'autobotte 1,5 km/h¹³.

¹³ Massima lunghezza delle piste di cantiere pari a circa 4,5 km.

7 CAMBIAMENTI CLIMATICI

7.1 Generalità

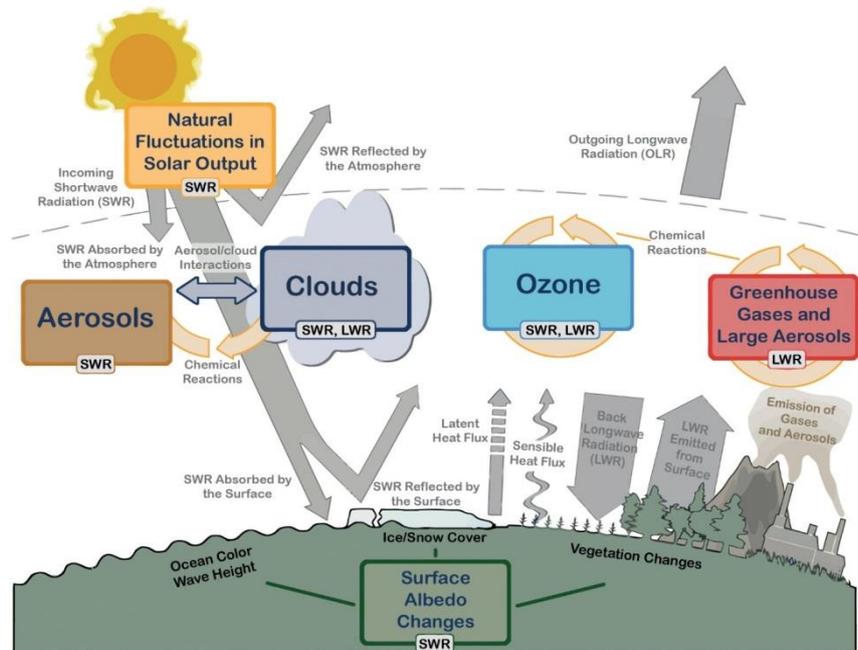
I cambiamenti climatici rappresentano un fenomeno attuale. Soprattutto nel corso degli ultimi anni si è assistito ad una ampia convergenza scientifica sulla valutazione di tale fenomeno e dei suoi impatti. L'ultimo rapporto di valutazione del gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*) afferma che il riscaldamento globale è ormai inequivocabilmente in atto. A supporto di questa tesi porta una molteplicità di evidenze, quali il riscaldamento della superficie terrestre, degli oceani e della troposfera, l'innalzamento del livello globale del mare e la riduzione dei ghiacciai continentali e marini. In Italia questi cambiamenti climatici hanno già evidenziato la vulnerabilità e fragilità geologica e idrologica del nostro territorio e manifestato altresì effetti negativi in diversi settori produttivi, tra i quali i più sensibili sono il settore turistico, quello energetico e della sanità.

Si definisce clima il comportamento medio delle variabili meteorologiche che caratterizzano un determinato contesto ambientale. Le principali variabili normalmente analizzate sono temperatura, precipitazioni e regime anemologico e, in base alle indicazioni dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO - *World Meteorological Organization*), l'intervallo temporale da considerare è pari a 30 anni. Il clima non viene descritto esclusivamente attraverso il valore medio delle variabili, ma anche attraverso il loro comportamento statistico (frequenza, magnitudine, persistenza, trend, ...), ad esempio è solo mediante la combinazione di tali parametri che si possono descrivere, dal punto di vista climatico, fenomeni fondamentali come la siccità. Il Cambiamento Climatico indica il cambiamento nello stato del clima che può essere identificato attraverso i cambiamenti nelle medie e/o nella variabilità delle sue proprietà e che persistono per un periodo esteso (normalmente decenni o più).

Il sistema climatico terrestre riceve la sua energia dalla radiazione solare, il sole fornisce la sua energia alla Terra principalmente nelle zone tropicali e subtropicali; questa energia viene poi in parte ridistribuita alle latitudini medie e superiori dai processi di trasporto atmosferici e oceanici.

Approssimativamente il 50% dell'energia solare è fornita nella parte visibile dello spettro elettromagnetico, poiché la temperatura sulla terra risulta essere sostanzialmente costante da molti secoli vuol dire che l'energia solare in ingresso è sostanzialmente in equilibrio con quella riemessa nello spazio dalla Terra. Dell'energia irraggiata da sole mediante radiazioni ad onde corte (*shortwave radiation* SWR, Visibile e UV) circa metà è assorbita dalla superficie terrestre. La frazione di SWR riflessa verso lo spazio dai gas, aerosol, nubi e superficie terrestre (albedo) è circa il 30%, infine il 20% è assorbito dall'atmosfera. In ragione della temperatura delle superficie terrestre la maggior parte dell'energia riemessa dalla Terra è costituita da radiazione elettromagnetica nel campo dell'infrarosso (LWR radiazioni ad onde lunghe). Le radiazioni ad onde lunghe (LWR) emessa dalla Terra sono assorbite significativamente dai costituenti dell'atmosfera (vapore acqueo, CO₂, metano CH₄, protossido di Azoto (N₂O) e altri gas serra (GHGs¹⁴)) e dalle nuvole e riemesse, sempre sotto forma di LWR, in tutte le direzioni.

La componente di emissione verso il basso determina un



¹⁴ Greenhouse Gases: gas ad effetto serra.

incremento di calore negli strati bassi dell'atmosfera e sulla superficie terrestre (effetto serra). La riemissione di energia mediante LWR da parte dell'atmosfera avviene prevalentemente da parte degli strati superiori della troposfera. I cambiamenti nel budget energetico globale del sistema climatico terrestre, e i conseguenti cambiamenti climatici, possono derivare sia dalle variazioni della radiazione solare in ingresso sia dalle variazioni della LWR riemessa. Le variazioni relative all'energia solare in ingresso derivano sia dai cambiamenti dell'energia in uscita dal sole sia dai cambiamenti dell'albedo terrestre, ossia della componente energetica riflessa dalla superficie terrestre. Le variazioni imputabili alla LWR riemessa sono determinate dai cambiamenti o della temperatura della superficie terrestre e dell'atmosfera o delle emissività (misura dell'efficienza di emissione) della LWR sia della superficie terrestre sia dell'atmosfera. Per l'atmosfera le variazioni di emissività dipendono dalla copertura nuvolosa e dalle concentrazioni dei gas serra (GHGs).

Nel seguito, si fornisce un quadro complessivo delle principali tendenze climatiche che connotano l'area su cui insiste il progetto; tali informazioni sono desunte dalla diversa letteratura in materia di carattere sia globale che europea e nazionale.

7.1.1 Analisi delle tendenze a livello globale

Il fenomeno dei cambiamenti climatici in atto è oggetto di una costante attività di monitoraggio e analisi da parte della comunità scientifica internazionale. In particolare nel 1988 l'UNEP (*United Nations Environment Programme*) e il WMO (*World Meteorological Organization*), in collegamento con l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, hanno dato vita al IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) con l'obiettivo di fornire al mondo un punto di vista scientifico e affidabile sullo stato dei cambiamenti climatici in atto e sui potenziali impatti ambientali e socio-economici.

I dati forniti dall'IPCC si basano sulla costante analisi e verifica degli studi scientifici che a livello mondiale vengono sviluppati sul tema dei cambiamenti climatici. L'azione dell'IPCC si concretizza nella periodica produzione di rapporti (*Assessment Report*) che sintetizzano e organizzano le informazioni disponibili in modo da fornire un quadro costantemente aggiornato della situazione.

I dati cui si è fatto riferimento in questa sede provengono dalla quinta edizione dell'*Assessment Report* (AR5) che è stata ultimata nel 2014. I dati ad oggi pubblicati consentono di avere informazioni in merito ai trend documentati dalle serie storiche ed agli esiti delle valutazioni modellistiche finalizzate alla previsione degli scenari futuri. Si riportano nel seguito in forma sintetica le principali conclusioni dello studio. Ad oggi è in corso di elaborazione il sesto rapporto i cui risultati saranno pubblicati nel corso del 2022.

Cambiamenti osservati nel sistema climatico

1. Il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, dal 1950 molti dei cambiamenti osservati sono senza precedenti considerando un intervallo temporale che va dai decenni ai millenni. L'atmosfera e l'oceano hanno incrementato la loro temperatura, la quantità di neve e ghiaccio sono diminuiti, il livello del mare è aumentato e le concentrazioni di gas serra sono aumentate.
2. Gli ultimi tre decenni sono stati i più caldi sulla superficie terrestre dal 1850. Nell'emisfero settentrionale il trentennio 1983-2012 è stato probabilmente il più caldo degli ultimi 1400 anni.
3. La temperatura media sulla superficie terrestre (valore medio tra oceani e terre emerse) tra il 1901 e il 2012 è aumentata mediamente di 0.89 °C [0.69 °C÷1.08°C a seconda degli studi] e di 0.72 °C [0.49÷0.89] tra il 1951 e 2012. Negli ultimi anni l'entità del trend risulta però ridotta, se l'incremento per decade medio tra il 1951 e il 2012 risulta essere pari a 0.12 °C ogni dieci anni [0.08÷0.14], nei quindici anni compresi tra il 1988 e 2012 si è ridotto a 0.05 °C [-0.05÷0.15]. C'è una alta confidenza¹⁵ (*high confidence*) nell'affermare che il riscaldamento della superficie terrestre ha invertito nel 20° secolo il trend di raffreddamento presente nei passati 5000 anni alle medie e alte latitudine dell'emisfero settentrionale.
4. Il riscaldamento dell'oceano domina l'aumento di energia immagazzinata nel sistema climatico terrestre e rappresenta oltre il 90% dell'energia accumulata tra il 1971 e il 2010. È praticamente certo¹⁶ (*virtually certain*) che lo strato superficiale dell'oceano (0-700 m) si è riscaldato dal 1971-2010, mentre è probabile (*likely*) il riscaldamento tra il 1870 e il 1971.
5. Negli ultimi due decenni, la Groenlandia e gli strati di ghiaccio antartici hanno perso massa, i ghiacciai hanno continuato a ridursi in quasi tutto il pianeta, il ghiaccio marino artico e lo strato di neve primaverile dell'Emisfero Nord hanno continuato a diminuire la loro estensione.

¹⁵ Confidenza (*confidence*), indicatore qualitativo che incrocia la robustezza dei dati disponibili e la coerenza delle interpretazioni degli studiosi.

¹⁶ Incertezza (*uncertainty*), misura quantitativa ottenuta in base ad analisi statistiche della coerenza dei dati disponibili.

6. Il tasso di aumento del livello del mare a partire dalla metà del 19° secolo è stato superiore al tasso medio negli ultimi due millenni. Nel periodo 1901-2010, il livello medio globale del mare è aumentato di 0.19 [0.17-0.21] m.
7. Le concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica, metano e protossido di azoto sono aumentati a livelli senza precedenti almeno negli ultimi 800 mila anni. Le concentrazioni di anidride carbonica sono aumentate del 40% dal periodo pre-industriale, principalmente a causa delle emissioni dai combustibili fossili e secondariamente per le emissioni associate al cambiamento di uso dei suoli. L'oceano ha assorbito circa il 30% dell'anidride carbonica di origine antropica emessa, causando l'acidificazione degli oceani.

Le responsabilità dell'uomo

1. La forzante radiativa totale è positiva ed ha determinato un aumento dell'energia nel sistema climatico terrestre. Il maggior contributo alla forzante è dovuto all'aumento della concentrazione di CO₂ fino dal 1750.
2. L'influenza antropica sul sistema climatico è chiara. Questo è evidente dall'aumento delle concentrazioni dei gas serra in atmosfera, dalla presenza di una forzante radiativa positiva, dal riscaldamento osservato e dalla comprensione del sistema climatico.
3. L'influenza dell'uomo è stata individuata nel riscaldamento dell'atmosfera e dall'oceano, nei cambiamenti nel ciclo globale dell'acqua, nella riduzione della neve e del ghiaccio, nell'aumento medio del livello del mare e nel cambiamento di alcuni eventi climatici estremi. È molto probabile (*extremely likely*) che l'influenza umana sia la causa principale del riscaldamento osservato dalla metà del XX secolo.
4. Le continue emissioni di gas serra provocheranno un ulteriore riscaldamento e modificazioni nel sistema climatico. La limitazione del cambiamento climatico richiede una sostanziale e duratura riduzione delle emissioni dei gas serra.

L'AR5 oltre a fornire una dettagliata rassegna delle analisi disponibili relativamente ai trend climatici osservati, riporta anche gli esiti delle valutazioni modellistiche effettuate per individuare i trend che si manifesteranno nei prossimi 100 anni. Le valutazioni modellistiche fanno riferimento a 4 scenari (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5) che si differenziano in funzione della "forzante radiativa"¹⁷, ossia del calore riemesso sulla terra dall'atmosfera a causa della presenza dei gas serra. Una breve descrizione degli scenari considerati è riportata di seguito. Gli scenari RCP (*Representative Concentration Pathways*) sono usati dai modelli climatici per descrivere l'evoluzione delle emissioni in funzione della variazione della forzante radiativa nel 2100 rispetto ai valori del periodo preindustriale (RCPs).

Scenario	Descrizione	CO2 [ppm]	CO2eq [ppm]
RCP2.6	Picco della forzante a 3 W/m ² e riduzione entro il 2100, valor medio 2.6 (azioni di contrasto ai gas serra molto incisive) <i>Ipotesi dello scenario:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Riduzione dell'uso del petrolio. • Bassa intensità energetica. • Popolazione mondiale di 9 miliardi di persone nel 2100. • Aumento delle zone agricole per i bio-combustibili. • Emissioni di metano ridotte del 40%. • Le emissioni di CO2 rimangono a livelli attuali fino al 2020 per ridursi e diventare negative nel 2100. • Picco nella concentrazione di CO2 nel 2050 seguito da una riduzione per portare i livelli a 400 nel 2100. 	421	475
RCP4.5	Stabilizzazione senza superare i 4.5 W/m ² nel 2100 (discreti interventi di contenimento delle emissioni) <i>Ipotesi dello scenario:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Bassa intensità energetica. • Forti programmi di riforestazione. • Diminuzione delle zone agricole grazie all'aumento della produttività dei campi e cambiamenti nello stile di alimentazione dell'uomo. • Emissioni di metano stabili. • Le emissioni di CO2 aumentano leggermente per poi diminuire dal 2040 	538	630
RCP6	Stabilizzazione senza superare i 6 W/m ² nel 2100 (blandi interventi di contenimento delle emissioni) <i>Ipotesi dello scenario:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Uso massiccio di combustibili fossili. • Aumento dell'agricoltura. • Emissioni di metano stabili. • Picco del 75% in più rispetto alle emissioni attuali di CO2 nel 2060. 	670	800
RCP8.5	Aumento della forzante radiativa fino a raggiungere i 8.5 W/m ² nel 2100 (assenza di politiche specifiche per la riduzione delle emissioni) <i>Ipotesi dello scenario:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Nel 2100 le emissioni di CO2 saranno tre volte quelle attuali. • Aumento delle emissioni di metano. • Aumento della produzione agricola a causa dell'aumento della popolazione globale. • Popolazione mondiale di 12 miliardi di persone nel 2100. • Basso tasso di sviluppo economico. • Uso massiccio di combustibili fossili. • Non vengono adottate politiche sul clima. 	936	1313

Tabella 28 - Scenari RCP (*Representative Concentration Pathways*) individuati nell'Assessment Report n. 5 (AR5) dell'IPCC (2014)

I risultati delle analisi modellistiche relative alle previsioni del clima futuro possono essere sintetizzate nei seguenti concetti:

- È probabile (*likely*) che la temperatura superficiale terrestre alle fine del XXI secolo subirà un incremento superiore a 1.5 °C rispetto a quella relativa al 1850÷1900 per tutti gli scenari ad eccezione dello scenario RCP2.6. L'incremento sarà probabilmente superiore a 2 °C per gli scenari RCP6.0 e RCP8.5 e compreso tra 1.5 °C e 2 °C per lo scenario RCP4.5. Il riscaldamento continuerà durante l'intero secolo per tutti gli scenari ad eccezione del RCP2.6. I fenomeni di riscaldamento continueranno a presentare una significativa variabilità interannuale e decadale e non saranno uniformi spazialmente.

¹⁷ Nelle scienze del clima la forzante radiativa è definita come la differenza tra l'energia radiante ricevuta dalla terra e quelle dalla terra riemessa verso lo spazio. Normalmente la forzante radiativa è valutata in corrispondenza della tropopausa ed è espressa in watt per metro quadro di superficie terrestre. Una forzante positiva indica che il "sistema terra" si sta scaldando mentre una forzante negativa che si sta raffreddando.

- I cambiamenti sul ciclo globale dell'acqua, in risposta al riscaldamento lungo il XXI secolo non saranno uniformi. Il contrasto nelle precipitazioni tra regioni umide e secche e tra stagioni umide e secche aumenterà, sebbene ci potranno essere delle eccezioni a livello regionale.
- Il riscaldamento dell'oceano continuerà durante tutto il XXI secolo. È previsto che il fenomeno interesserà non solo lo strato superficiale ma si spingerà anche più a fondo con un inevitabile effetto sulla circolazione oceanica.
- È molto probabile (*very likely*) che la copertura di ghiaccio del mare Artico continuerà a ritirarsi e assottigliarsi e che nell'emisfero Nord la copertura nevosa primaverile diminuirà all'aumentare della temperatura superficiale. Il volume globale di ghiaccio subirà un ulteriore decremento.
- Il livello globale del mare nel XXI secolo continuerà a crescere. In tutti gli scenari RCP il tasso di incremento del mare risulta molto probabilmente (*very likely*) superiore a quello osservato durante l'intervallo 1971÷2010 a causa sia del riscaldamento degli oceani sia dell'apporto di acqua dallo scioglimento dei ghiacci e della copertura nevosa.
- Il cambiamento climatico avrà un effetto sul ciclo del carbonio nella direzione di un incremento della CO₂ in atmosfera (*high confidence*). L'ulteriore assorbimento di carbonio da parte degli oceani determinerà un ulteriore incremento del fenomeno di acidificazione.
- La maggior parte degli aspetti del cambiamento climatico persisteranno per molti secoli anche se le emissioni di CO₂ si bloccassero. Ciò evidenzia come il cambiamento climatico sia un fenomeno che si sviluppa su un orizzonte temporale di più secoli determinato dalle emissioni presenti, passate e future di CO₂.

Le valutazioni previsionali riportate nell'AR5 IPCC¹⁸ analizzano i cambiamenti climatici sia a livello globale sia con focus regionali specifici, ovviamente con una risoluzione spaziale di non particolare dettaglio. Nella Figura 44 si riporta la suddivisione regionale prevista nello studio: l'area di interesse, ovvero sia il centro Italia ricade all'interno della zona Sud-Europa e Mediterraneo, codificata come AI.40-43.

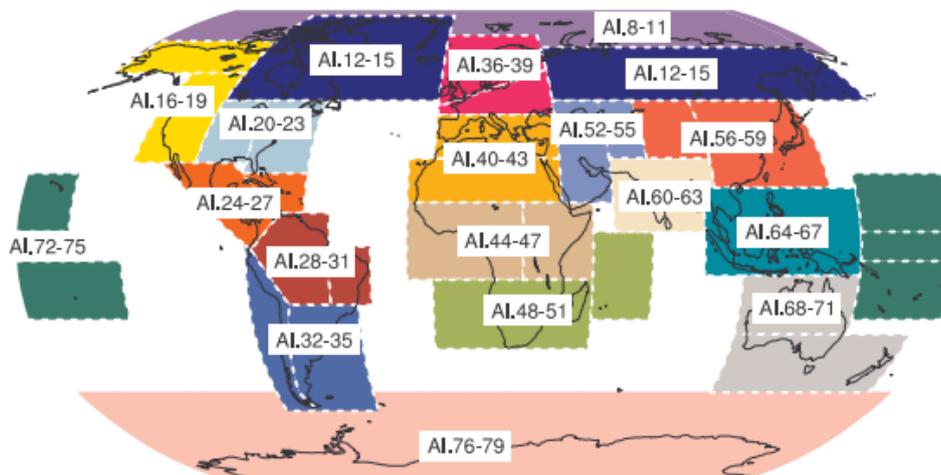
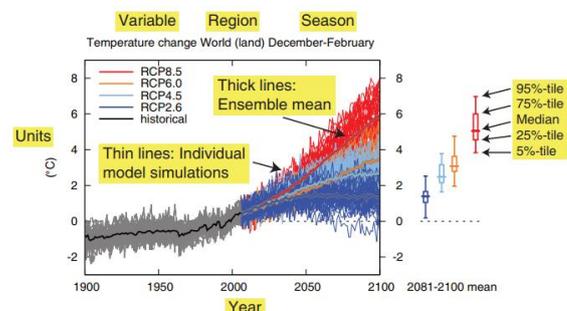


Figura 44 - Aree climatiche previste dall'IPCC

La Figura 45 riporta il trend della temperatura media annuale delle valutazioni previsionali sintetizzate nello studio dell'IPCC relativamente ai quattro scenari descritti precedentemente; in tali grafici, le linee sottili rappresentano gli esiti dei diversi modelli previsionali analizzati, la linea spessa la media d'insieme delle previsioni. Per le medie relative al periodo 2081-2100, a destra è riportato il box-plot della distribuzione delle previsioni in cui vengono indicati il 5°, 25°, 50° (mediana), 75° e 95° percentile delle previsioni effettuate dai diversi modelli.



¹⁸ Fonte: Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections.

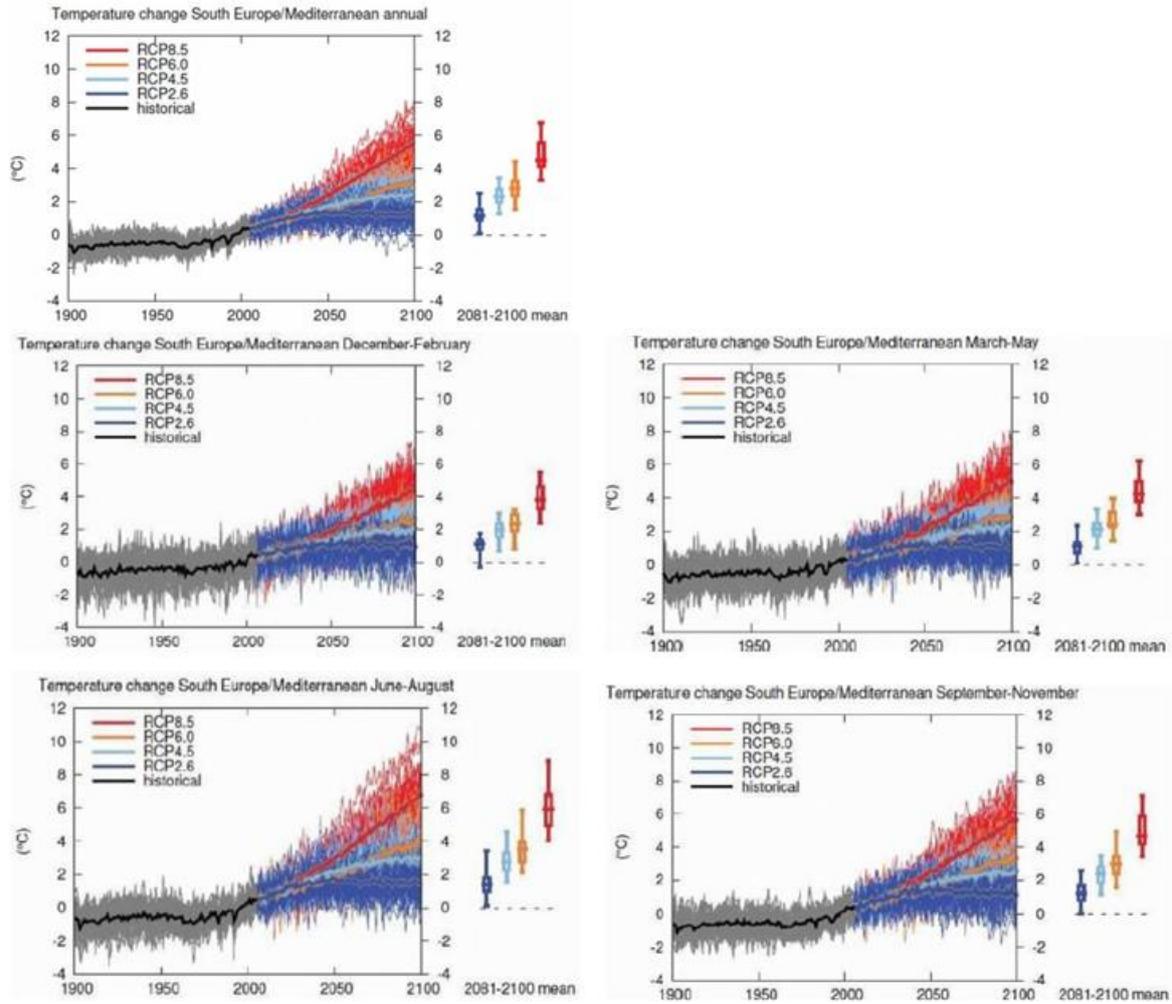
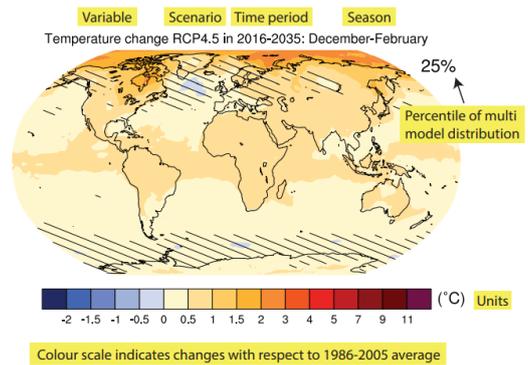


Figura 45 - Andamenti annuali e stagionali delle stime modellistiche del AR5 IPCC

Nelle figure seguenti sono riportati gli stralci delle mappe relative all'area Al.40-43 che consentono di visualizzare spazialmente le variazioni attese. Le mappe al continuo rappresentano le differenze tra i periodi 2016-2035, 2046-2035 e 2081-2100, rispetto al periodo di riferimento 1986-2005. Lo studio IPCC riporta i valori relativi al 25°, 50° (mediana) e 75° percentile delle stime modellistiche. Nel presente documento si è ritenuto sufficiente riportare esclusivamente il valore mediano (50° percentile) che ben rappresenta la media delle stime effettuate.



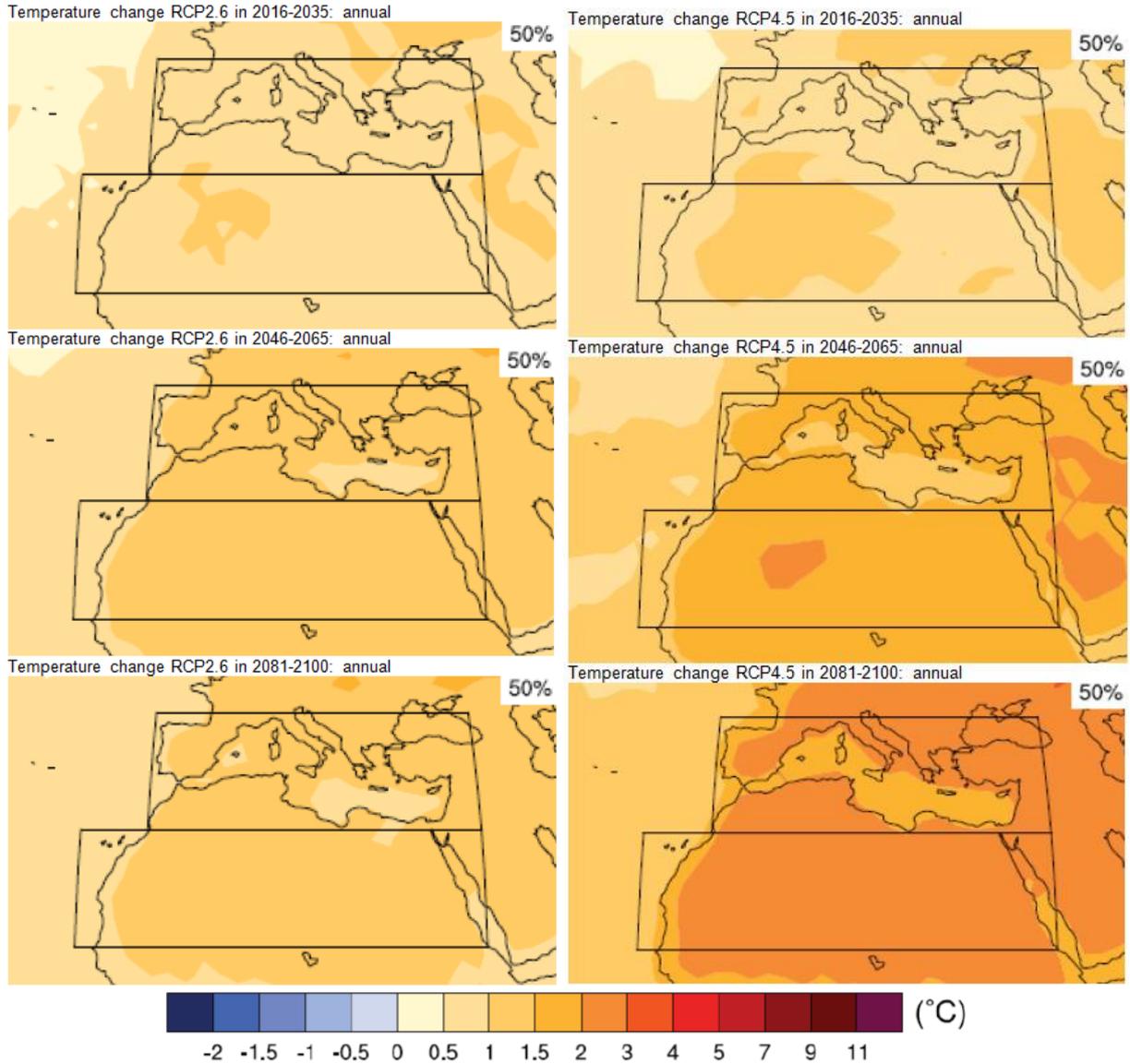


Figura 46 - Mappa delle variazioni della Tmedia rispetto al periodo di riferimento 1986-2005 (50° percentile) – scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 – periodo annuale (1/2)

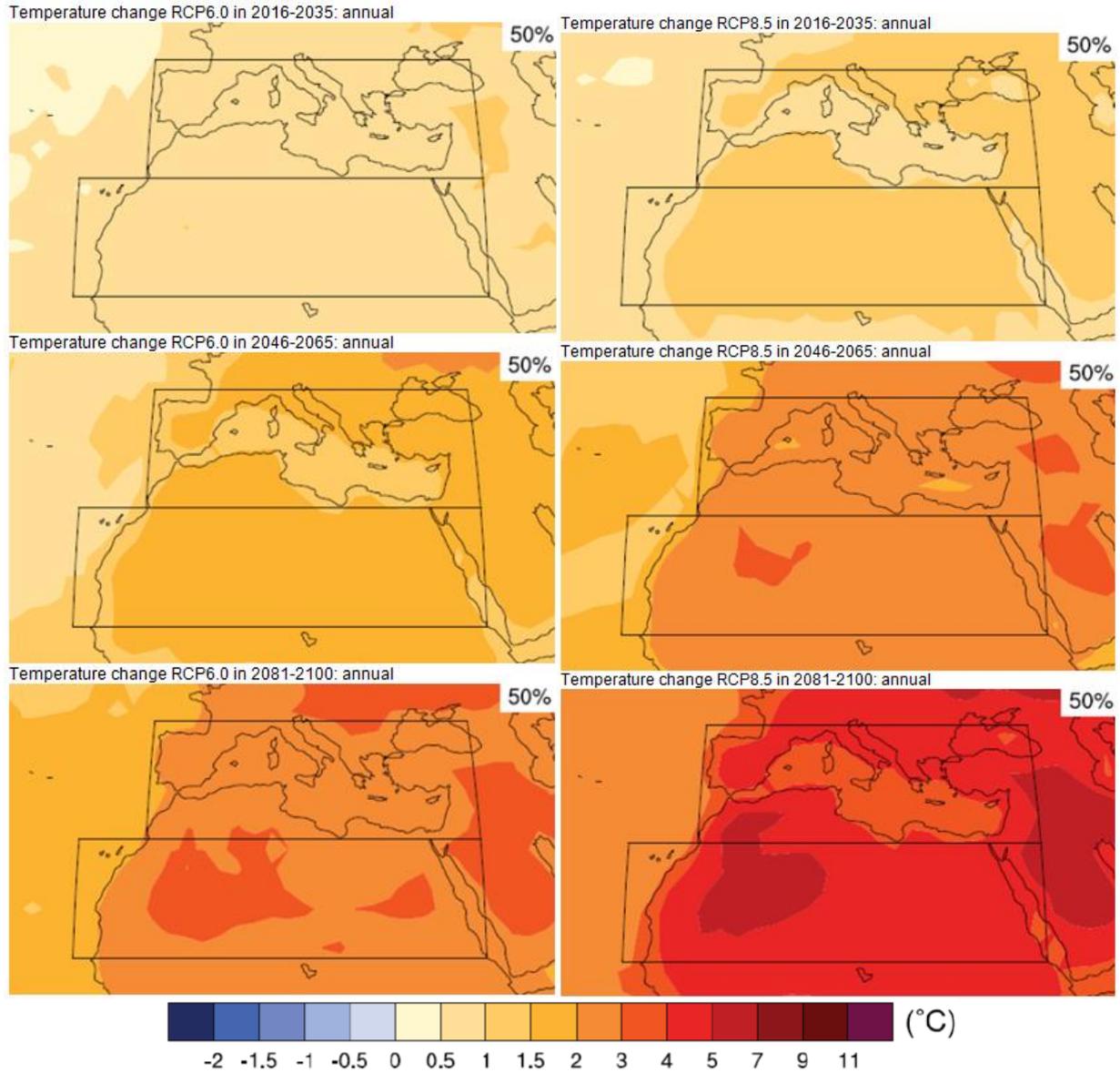


Figura 47 - Mappa delle variazioni della Tmedia rispetto al periodo di riferimento 1986-2005 (50° percentile) – scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 – periodo annuale (2/2)

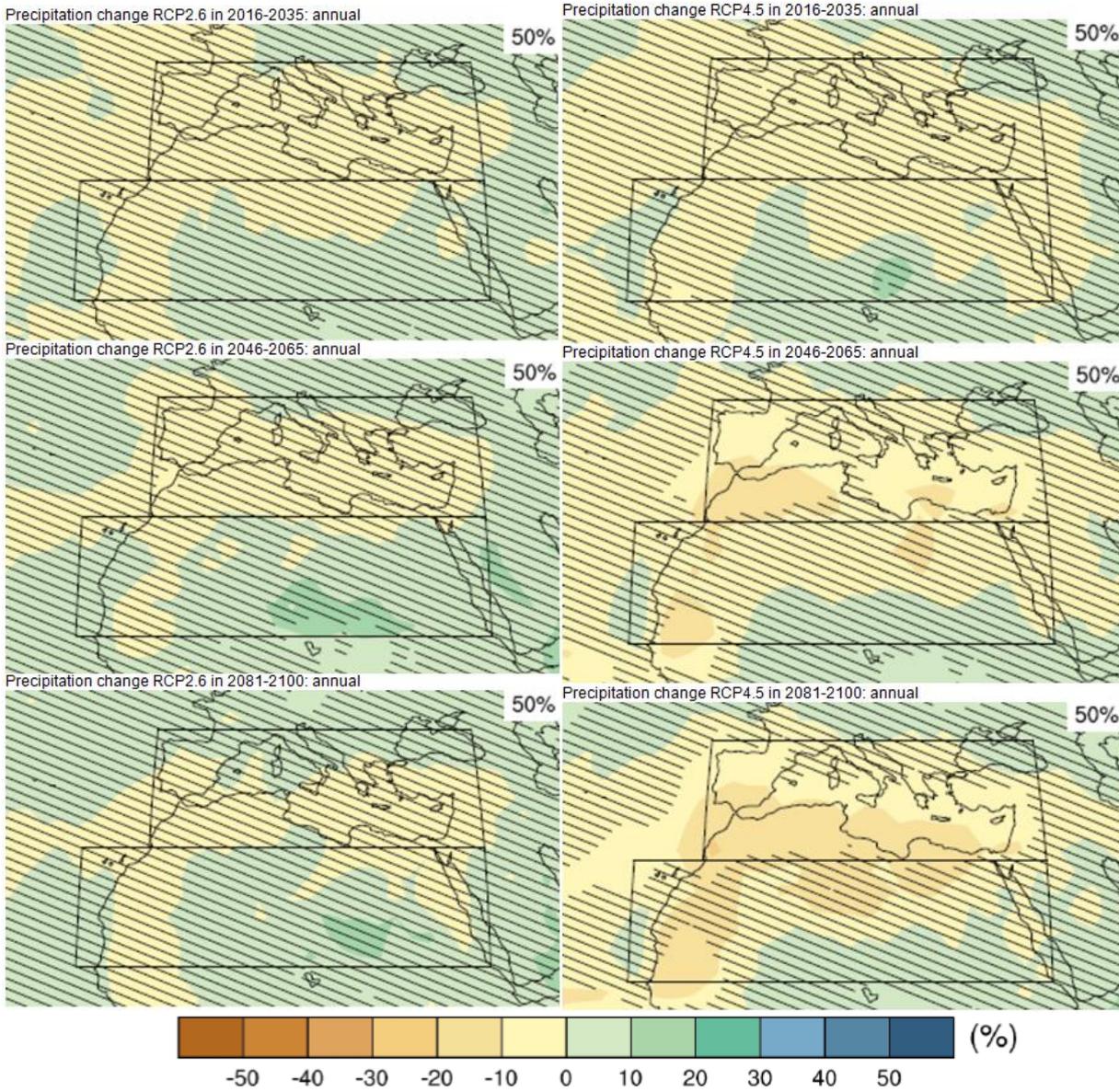


Figura 48 - Mappa delle variazioni delle precipitazioni medie annuali rispetto al 1986-2005 (50° percentile) - scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 – periodo annuale (1/2)

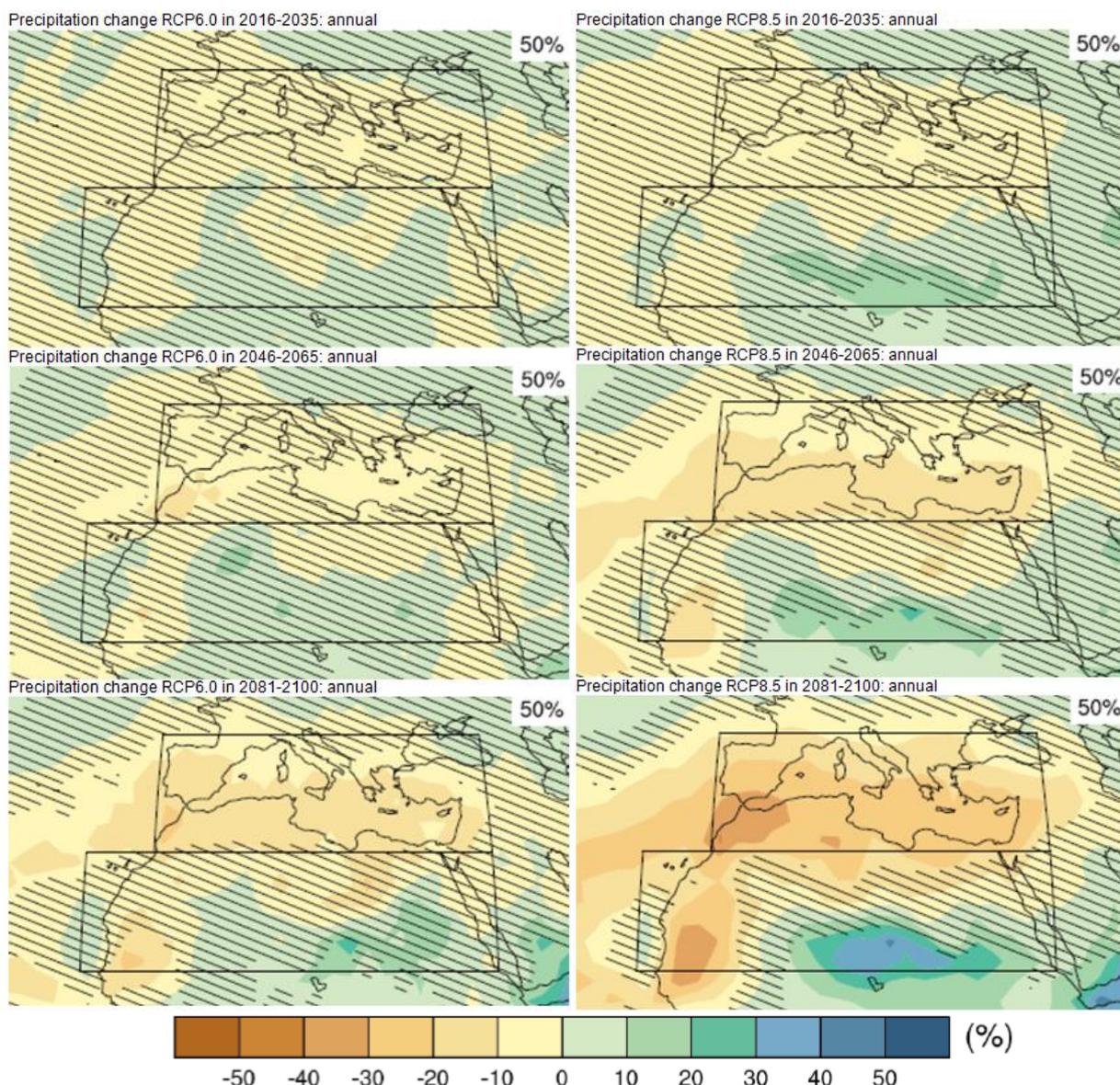


Figura 49 - Mappa delle variazioni delle precipitazioni medie annuali rispetto al 1986-2005 (50° percentile) - scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 – periodo annuale (2/2)

Le previsioni per l'area in esame nel periodo 2016÷2035 indicano un incremento della temperatura, su base annua, compreso tra 0.5 - 1 °C per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0, viceversa l'incremento sarebbe più significativo (0.5 - 1.5 °C) in presenza dello scenario RCP8.5.

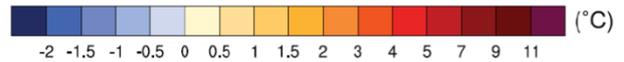
Analizzando le previsioni per il periodo 2046÷2065 gli incrementi risultano maggiormente significativi e più differenziati in funzione degli scenari emissivi, nello specifico, i modelli indicano un incremento di 1 - 1.5 °C per lo scenario RCP2.6, di 1.5 - 2 °C per lo scenario RCP4.5, di 1 - 2 °C per lo scenario RCP6.0 e pari a 2 - 4 °C per lo scenario RCP8.5.

I dati relativi all'orizzonte temporale 2081÷2100 evidenziano incrementi molto differenziati tra i diversi scenari e pari a 1 - 1.5 °C per quello RCP2.6, a 2 - 3 °C per gli scenari RCP4.5 e RCP6.0 e a 4 - 5 °C per lo scenario RCP8.5.

Per quanto riguarda le precipitazioni, le previsioni nel periodo 2016-2035 indicano una diminuzione percentuale delle precipitazioni che varia dal -10% allo 0% per gli scenari RCP4.5 ed RCP6.0. Al contrario un aumento dello 0-10 % per lo scenario RCP2.6 ed RCP8.5. Analizzando le previsioni per il periodo 2046-2065 si può osservare come nella maggior parte dei casi sia previsto un lieve aumento delle precipitazioni (0-10 %). Infine le valutazioni concernenti il periodo a lungo termine (2081-2100) indicano una situazione abbastanza variegata con aumenti su base annua dell'ordine del 10 % per lo scenario RCP2.6, mentre per

tutti gli scenari, le valutazioni indicano diminuzioni sempre nello stesso ordine di grandezza. Si sottolinea tuttavia che tali previsioni, relative alle variazioni dei regimi pluviometrici, non sono risultate statisticamente significative per cui hanno un valore prettamente indicativo.

Le seguenti tabelle invece forniscono una sintesi delle previsioni effettuate nell'AR5 IPCC per ciò che concerne la temperatura e le precipitazioni; sono riportati i cambiamenti attesi per i periodi 2016÷2035, 2046÷2065, 2081÷2100 rispetto al periodo di riferimento (1986÷2005). I valori si riferiscono al 50° percentile dei modelli considerati nello studio e riguardano sia la media annuale che quelle stagionali. Per la temperatura sono considerate quattro stagioni: Dic-Feb, Mar-Mag, Giu-Ago, Set-Nov a differenza di quanto accade per le precipitazioni in cui i dati sono organizzati in due periodi: Ott-Mar, Apr-Sett.



Scenario	Anno	Dic-Feb	Mar-Mag	Giu-Ago	Set-Nov
RCP2.6	0.5 - 1	0.5 - 1	1 - 1.5	0.5-1	0.5 - 1
RCP4.5	0.5 - 1	0.5 - 1	0.5 - 1	1 - 1.5	0.5 - 1
RCP6.0	0.5 - 1	0.5 - 1	0.5 - 1	0.5 - 1	0.5 - 1
RCP8.5	1-1.5	0.5 - 1	0.5 - 1	1 - 1.5	0.5-1 / 1-1.5

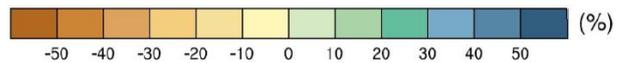
Tabella 29 - Sintesi esiti valutazioni modellistiche per la temperatura media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2016÷2035

Scenario	Anno	Dic-Feb	Mar-Mag	Giu-Ago	Set-Nov
RCP2.6	1 - 1.5	1 - 1.5	1.5 - 2	1 - 1.5	1 - 1.5
RCP4.5	1.5 - 2	1 - 1.5	1.5-2	2 - 3	1.5 - 2
RCP6.0	1-1.5 / 1.5-2	1 - 1.5	1.5 - 2	1.5 - 2	1.5 - 2
RCP8.5	2 - 3	1.5 - 2	2 - 3	3 - 4	2-3

Tabella 30 - sintesi esiti valutazioni modellistiche per la temperatura media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2046÷2065

Scenario	Anno	Dic-Feb	Mar-Mag	Giu-Ago	Set-Nov
RCP2.6	1 - 1.5	1 - 1.5	1 - 1.5	1 - 1.5	1 - 1.5
RCP4.5	2 - 3	1.5 - 2	2 - 3	2 - 3	2 - 3
RCP6.0	2 - 3	2 - 3	2 - 3	3 - 4	2 - 3
RCP8.5	4 - 5	3 - 4	3 - 4	5 - 7	4 - 5

Tabella 31 - sintesi esiti valutazioni modellistiche per la temperatura media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2081÷2100



Scenario	Anno	Ott - Mar	Apr-Sett
RCP2.6	0 / 10	0 / 10	-10 / 0
RCP4.5	-10 / 0	-10 / 0	-10 / 0
RCP6.0	-10 / 0	-10 / 0	-10 / 0
RCP8.5	0 / 10	0 / 10	-10 / 0

Tabella 32 - Sintesi esiti valutazioni modellistiche per la precipitazione media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2016÷2035

Scenario	Anno	Ott-Mar	Apr-Sett
RCP2.6	0 / 10	0 / 10	0 / 10
RCP4.5	0 / 10	0 / 10	-10 / 0
RCP6.0	-10 / 0	0 / 10	-10 / 0
RCP8.5	-10 / 0	0 / 10	-10 / 0

Tabella 33 - Sintesi esiti valutazioni modellistiche per la precipitazione media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2056÷2065

Scenario	Anno	Ott-Mar	Apr-Sett
RCP2.6	0 / 10	0 / 10	0 / 10
RCP4.5	-10 / 0	0 / 10	-10 / 0
RCP6.0	-10 / 0	0 / 10	-20 / -10
RCP8.5	-10 / 0	0 / 10	-20 / -10

Tabella 34 - Sintesi esiti valutazioni modellistiche per la precipitazione media AR5 IPCC – Area Sud Europa - 2081÷2100

7.1.2 Analisi delle tendenze climatiche nazionali

I cambiamenti climatici in Italia sono stati trattati da diversi studi europei e nazionali. A livello europeo una fonte informativa importante è rappresentata dal documento "ESPON CLIMATE - Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies" redatto nell'ambito del Programma europeo ESPON 2013 (Network Europeo di Osservazione dello Sviluppo e Coesione Territoriali). Nel documento sono riportate le mappature degli andamenti al futuro di diversi parametri climatici ottenute dai dati di output del modello climatico CCLM. È stato scelto quest'ultimo per via della buona scala spaziale (circa 20 km), del numero di variabili climatiche analizzate ed inoltre perché fornisce gli andamenti di diversi indicatori di eventi estremi come ad esempio i giorni di gelo oppure i giorni estivi.

Nelle mappe che seguono i cambiamenti dei vari indicatori si riferiscono al periodo 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1961-1990 sotto le condizioni di sviluppo dello scenario A1B. Quest'ultimo è uno dei sei possibili scenari di emissioni di gas-serra, esposti nell'edizione IPCC del 2000, dovute a diverse condizioni di sviluppo economico, demografico e tecnologico. Nello specifico l'A1B si riferisce a condizioni di emissione medio-alta. Per eventuali dettagli si rimanda alla pubblicazione "IPCC - SPECIAL REPORT EMISSIONS SCENARIOS". Nell'edizione 2013 del rapporto IPCC sono stati ridefiniti gli scenari di riferimento come descritto nel paragrafo precedente.

Nella tabella seguente sono riassunti i valori dei cambiamenti previsti relativamente alle diverse variabili climatiche, per l'area in esame. Analizzando il quadro d'insieme appare chiaro che le proiezioni indicano uno scenario tendente all'aridità con aumento della temperatura media, dei giorni estivi e contestualmente diminuzione dei giorni di gelo e delle precipitazioni (soprattutto nel periodo estivo).

VARIABILE CLIMATICA	AUMENTO	DIMINUZIONE	VALORE
Temperatura media annuale (°C)	X	-	3.6 ÷ 4 °C
Numero medio annuale di giorni di gelo	-	X	30 ÷ 40
Numero medio annuale di giorni estivi	X	-	21 ÷ 30
Precipitazioni medie annuali nel periodo invernale (%)	-	X	-9.9 ÷ 0
Precipitazioni medie annuali nel periodo estivo (%)	-	X	-40
Numero di giorni con forti piogge	-	X	-2 ÷ 0
Evaporazione media annuale	-	X	-14.9 ÷ -7.5
Numero di giorni all'anno con copertura nevosa	-	-	0

Tabella 35 - Valori delle principali variabili climatiche previsti per l'area in esame (ESPON 2013 Program)

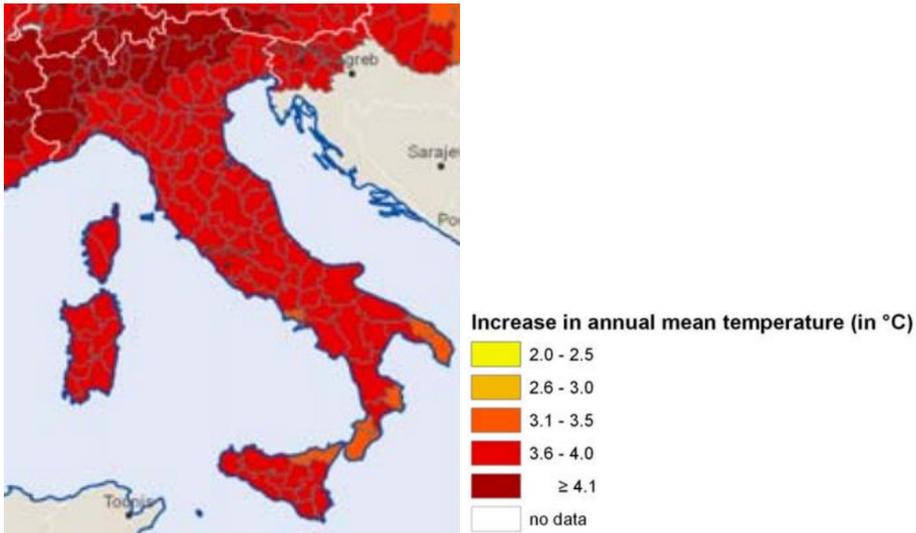


Figura 50 - Aumento della temperatura media annuale [°c] (ESPON 2013 Program)

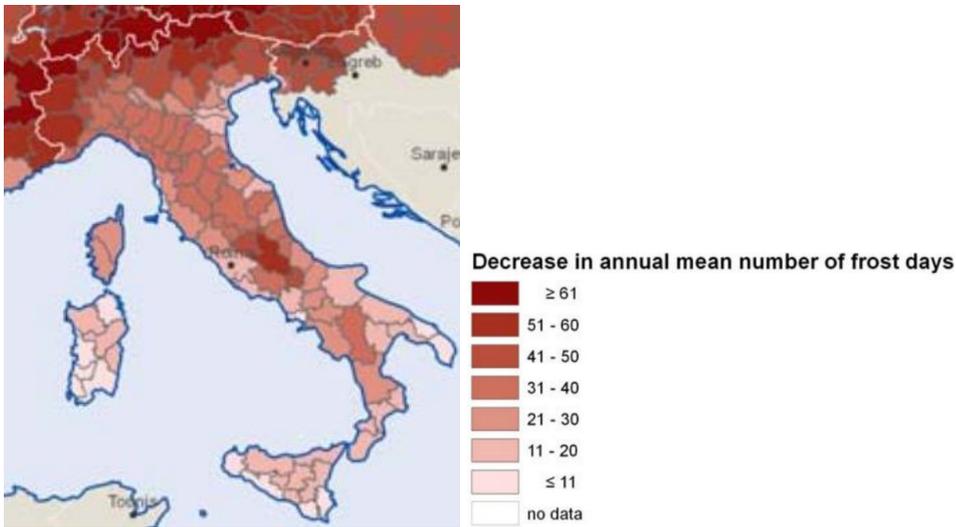


Figura 51 - Diminuzione del numero medio annuale di giorni di gelo (ESPON 2013 Program)

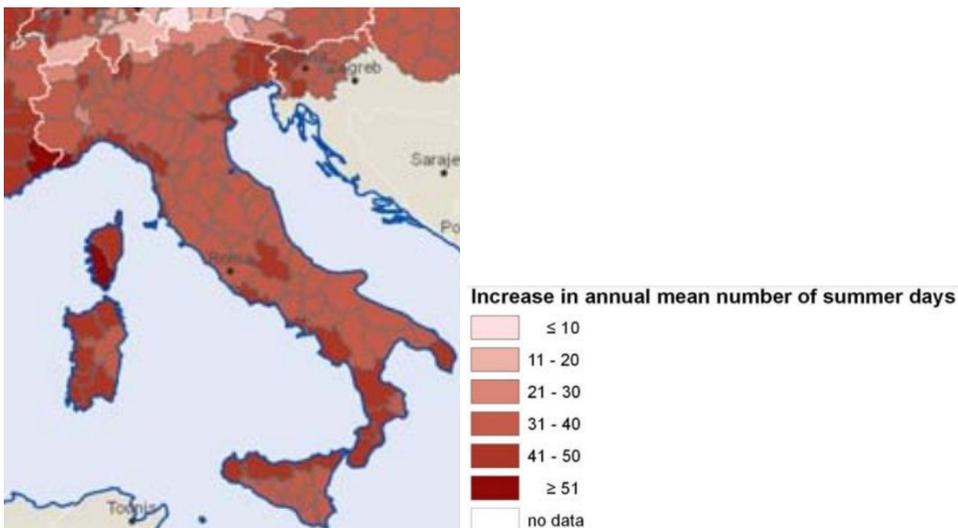


Figura 52 - Incremento del numero medio annuale di giorni estivi (ESPON 2013 Program)

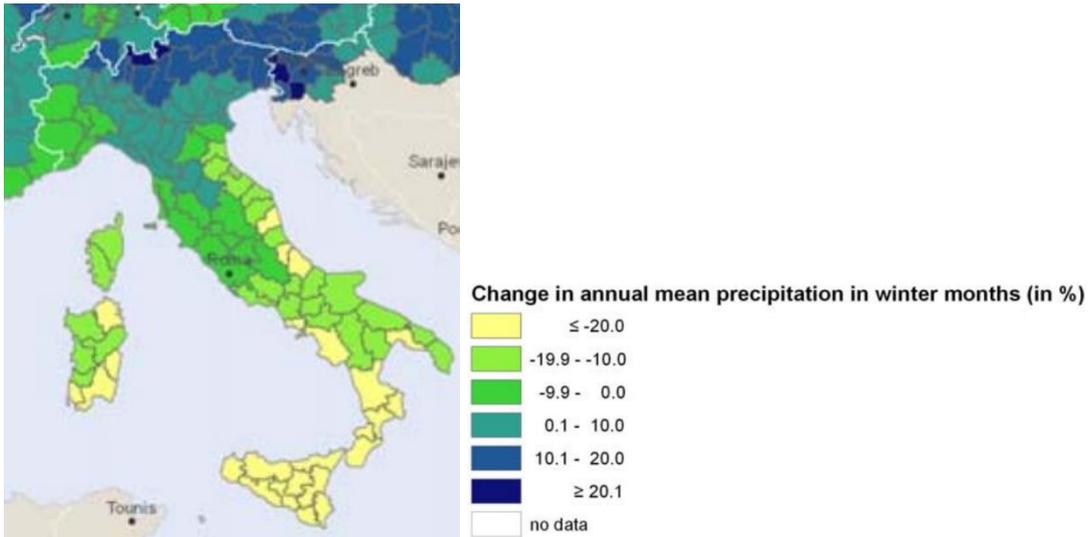


Figura 53 - Cambiamento delle precipitazioni medie annuali in periodo invernale [%] (ESPON 2013 Program)

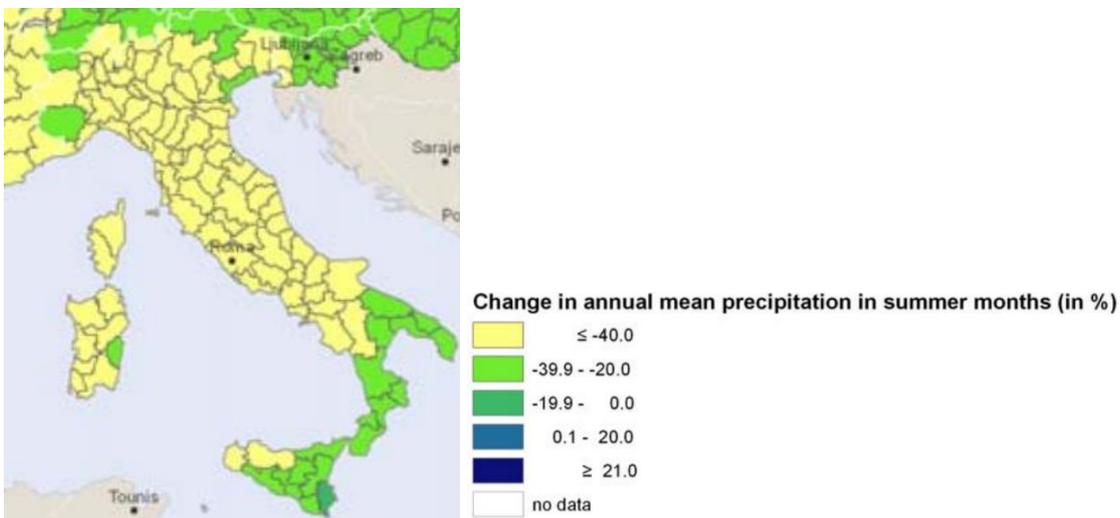


Figura 54 - Cambiamento delle precipitazioni medie annuali in periodo estivo [%] (ESPON 2013 Program)



Figura 55 - Cambiamento del numero di giorni con forti piogge (ESPON 2013 Program)

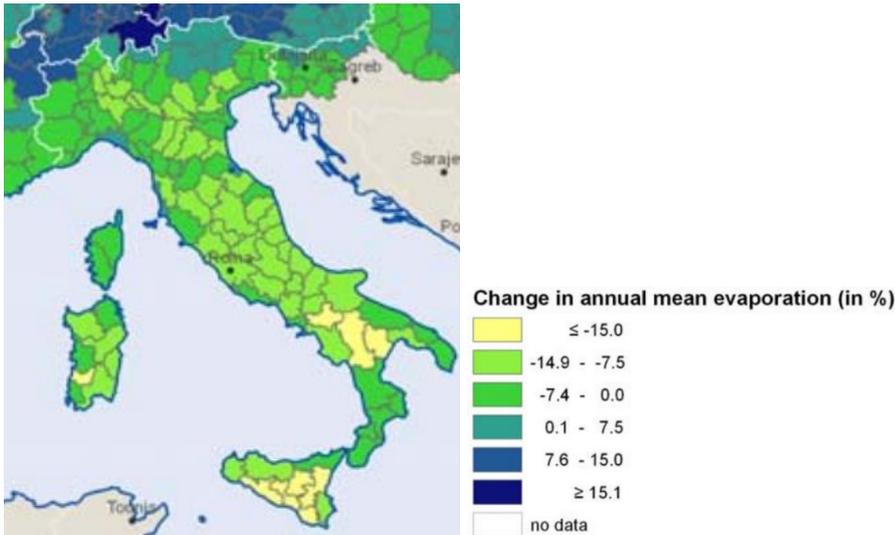


Figura 56 - Cambiamento dell'evaporazione media annuale [%] (ESPON 2013 Program)

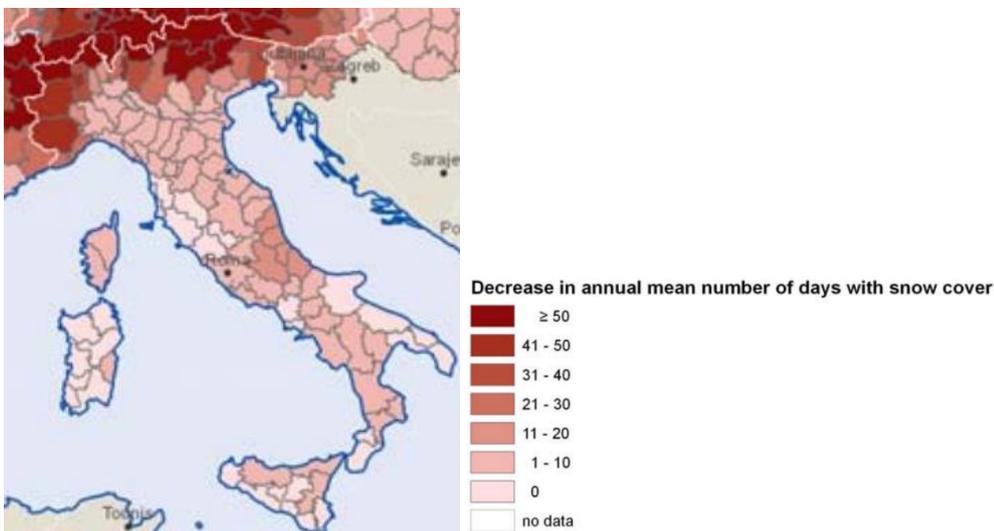


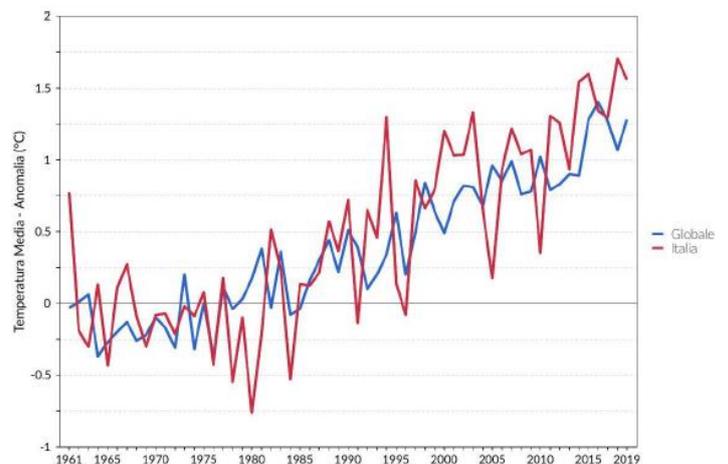
Figura 57 - Diminuzione del numero di giorni all'anno con copertura nevosa (ESPON 2013 Program)

In ultima analisi, sono stati esaminati altri due studi che a scala nazionale rappresentano il principale riferimento in materia: il documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2019" ed il "Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici" (PNACC) redatto nel 2017 dal Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici.

Gli indicatori del clima in Italia nel 2019

Si tratta del XV° rapporto del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente che, realizzato dall'ISPRA in collaborazione con gli organismi titolari delle principali reti osservative presenti sul territorio nazionale, illustra l'andamento del clima nel corso del 2019 e aggiorna la stima delle principali variazioni climatiche negli ultimi decenni in Italia.

La figura a margine è rappresentativa del trend delle anomalie di temperatura media annuale in Italia e su tutto il pianeta dal 1961 al 2019 rispetto al periodo di riferimento 1961-1990. È abbastanza evidente come ci sia stato un netto aumento a partire dagli inizi degli anni '80.



L'andamento della temperatura media in Italia nel corso del 2019 è illustrato nella Figura 58. I valori di anomalia rappresentano le differenze tra le temperature medie del 2019 e quelle normali riferite al periodo climatologico 1961-1990. L'andamento nel corso dei mesi è stato analogo nelle tre macroaree geografiche; per quanto concerne il Centro Italia, ad eccezione di gennaio e maggio, che hanno registrato anomalie negative, in tutti i mesi dell'anno la temperatura media è stata nettamente superiore alla norma, con un picco di anomalia positiva a giugno (+4.0°C) e anomalie superiori a +2°C a marzo, luglio, agosto, ottobre, novembre e dicembre. L'anomalia della temperatura media è stata più elevata al Nord (+1.87°C) e al Centro (+1.74°C) e meno elevata al Sud e Isole (+1.12°C). Il mese di maggio è stato più freddo della norma in tutte le macroaree, con anomalie comprese tra -1.86°C al sud e Isole e -1.1°C al Nord; a gennaio l'anomalia è stata poco superiore alla media al Nord e negativa al Centro e al Sud e Isole.

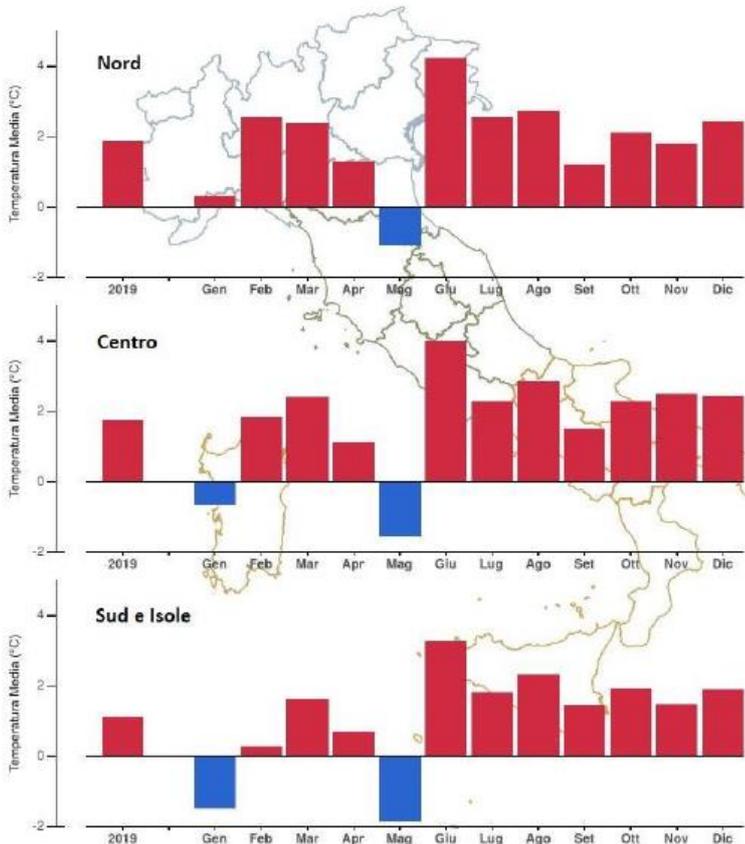
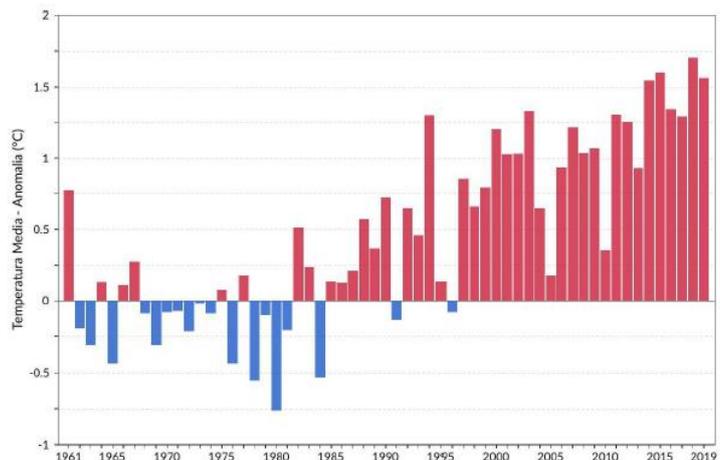


Figura 58 - Anomalia media 2019 (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1961-1990 – Nord, Centro, Sud e Isole

La variabilità interannuale della temperatura in Italia è illustrata dalle serie di anomalie annuali di temperatura media, rispetto alla media climatologica 1961-1990. Il 2019, con un'anomalia media di +1.56°C è stato il terzo anno più caldo dal 1961, dopo il 2018 e il 2015. A partire dal 1985 le anomalie sono state sempre positive, ad eccezione del 1991 e del 1996. Il 2019 è stato il ventitreesimo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma; otto dei dieci anni più caldi della serie storica sono stati registrati dal 2011 in poi, con anomalie comprese tra +1.26 e +1.71°C. L'anomalia della temperatura massima è stata più elevata di quella della temperatura minima.



Nella seguente tabella sono riportate le stime aggiornate dei trend di temperatura calcolati con un modello di regressione lineare. Poiché si fa risalire all'inizio degli anni '80 un cambiamento del trend di temperatura, quando ha inizio un periodo caratterizzato da un riscaldamento più marcato nel corso dell'ultimo secolo, i trend sono calcolati sul periodo 1981-2019. Il rateo di variazione della temperatura massima ($+0.42 \pm 0.06^\circ\text{C} / 10$ anni) è maggiore di quello della temperatura minima ($+0.34 \pm 0.04^\circ\text{C} / 10$ anni). Su base stagionale i trend di aumento della temperatura più forti si registrano in estate ($+0.52 \pm 0.10^\circ\text{C} / 10$ anni) e primavera ($+0.44 \pm 0.10^\circ\text{C} / 10$ anni). Il trend relativo alla primavera risulta leggermente inferiore a quello stimato nel 2018 ($+0.44 \pm 0.10^\circ\text{C} / 10$ anni), ma comunque ampiamente all'interno di una deviazione standard.

INDICATORE	TREND ($^\circ\text{C}/10$ anni)
Temperatura media	$+0.38 \pm 0.05$
Temperatura minima	$+0.34 \pm 0.04$
Temperatura massima	$+0.42 \pm 0.06$
Temperatura media inverno	$+0.29 \pm 0.12$
Temperatura media primavera	$+0.44 \pm 0.10$
Temperatura media estate	$+0.52 \pm 0.10$
Temperatura media autunno	$+0.29 \pm 0.09$

Tabella 36 - Trend (e relativo errore standard) della temperatura in Italia dal 1981 al 2019, stimati con un modello di regressione lineare semplice. Tutti i trend sono statisticamente significativi

In via generale, gli indicatori climatici di eventi estremi sembrano delineare una tendenza all'aridità con diminuzione dei giorni di gelo e contestuale aumento di notti tropicali, giorni estivi e ondate di calore.

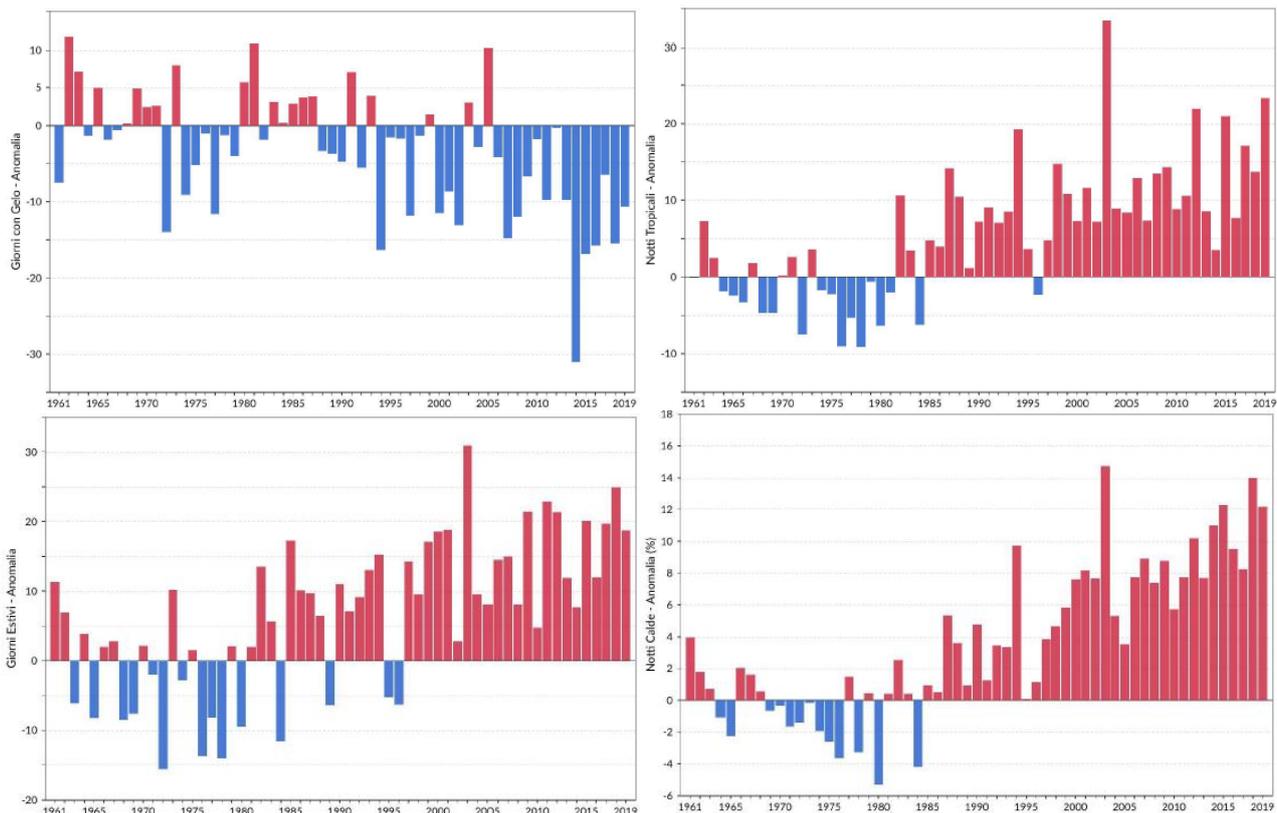


Figura 59 - Serie delle anomalie medie annuali in Italia rispetto al valore normale 1961-1990 (numero di giorni con gelo, numero di notti tropicali, numero di giorni estivi, numero di notti calde)

Nel documento è anche analizzata la variabilità del regime pluviometrico. Le precipitazioni cumulate annuali del 2019 sono state complessivamente superiori alla media climatologica del 12% circa. L'anomalia presenta differenze anche sensibili tra diverse aree del territorio italiano. Il Nord ha registrato il valore più elevato (+21%) seguito dal Centro (+9%) e dal Sud e Isole, dove la precipitazione cumulata annuale è stata appena superiore alla norma (+4%). Nel corso dell'anno, tuttavia, mesi molto piovosi si sono alternati ad altri più secchi. Sull'intero territorio nazionale novembre è stato il mese mediamente più piovoso, con un'anomalia di +144%. Al Nord il mese più piovoso si conferma novembre, con un picco di anomalia positiva di +200%, seguito da dicembre (+77%) e maggio (+75%); al Centro e al Sud i mesi relativamente più piovosi sono stati maggio (rispettivamente +142% e +122%), novembre e luglio. I mesi più secchi rispetto alla norma sono stati giugno (soprattutto al Centro, anomalia di -86%) seguito da marzo (soprattutto al Centro e al Nord, con anomalia rispettivamente -76% e -72%), febbraio, gennaio limitatamente al Nord ed al Centro, e infine ad agosto.

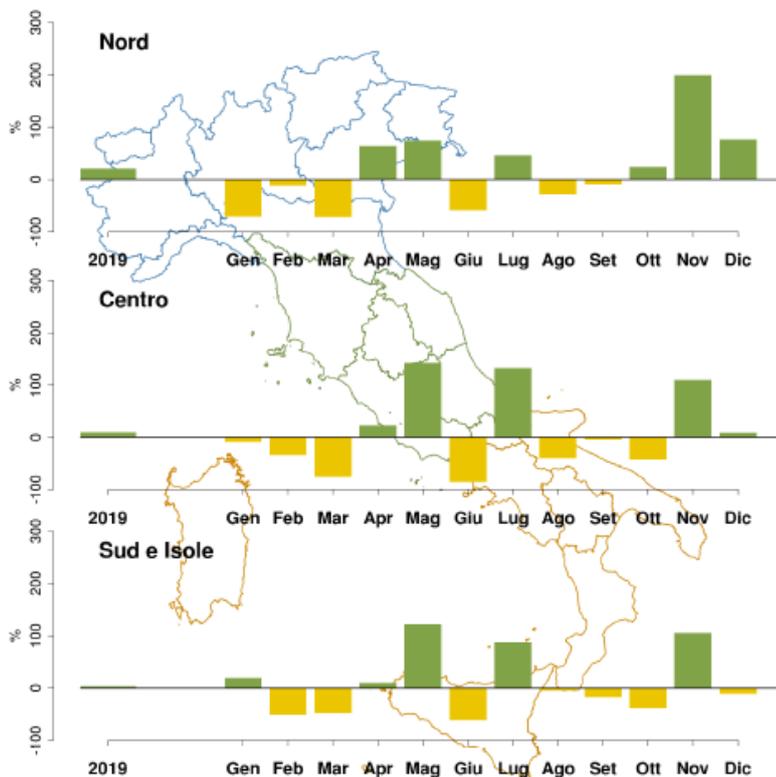


Figura 60 - Anomalia media mensile ed annuale 2019, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata Nord, Centro, Sud e Isole, rispetto al valore normale 1961-1990.

La seguente tabella riporta i trend delle precipitazioni cumulate annuali dal 1961 al 2019 suddivisi tra nord, centro e sud. Il valore è espresso come % ogni 10 anni. Si evidenzia come in tutti i casi non risultano tendenze statisticamente significative.

PRECIPITAZIONE CUMULATA	TREND (%/10 anni)
ANNUALE	
Italia	(+0.1 ± 1.0)
Nord	(+0.5 ± 1.2)
Centro	(-1.0 ± 1.1)
Sud e Isole	(+0.4 ± 1.3)
STAGIONALE (Italia)	
Inverno	(-1.6 ± 2.2)
Primavera	(+1.3 ± 1.5)
Estate	(-1.8 ± 2.3)
Autunno	(+2.3 ± 1.9)

Tabella 37 - Trend (e relativo errore standard) delle precipitazioni cumulate dal 1961 al 2019 stimati con il modello di regressione lineare semplice. In tutti i casi non risultano tendenze statisticamente significative.

Per valutare l'andamento della frequenza, dell'intensità e dei valori estremi di precipitazione, sono stati presi in considerazione alcuni indici rappresentativi delle anomalie relative alle precipitazioni massime giornaliere, l'R10mm (numero di giorni all'anno con precipitazioni superiori o uguali a 10 mm) e l'R95p (precipitazioni nei giorni molto piovosi: somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere superiori al 95° percentile della distribuzione delle precipitazioni giornaliere nei giorni piovosi nel periodo climatologico 1971-2000). Si evidenzia che tutte le serie temporali di questi indici non mostrano trend statisticamente significativi. Complessivamente, non emergono segnali netti di variazioni della frequenza e della intensità delle precipitazioni nel medio-lungo periodo. Si può tuttavia segnalare che il 2019 ha registrato anomalie positive di tutti gli indici al Centro, a conferma di un anno caratterizzato da diversi eventi di precipitazione intensa.

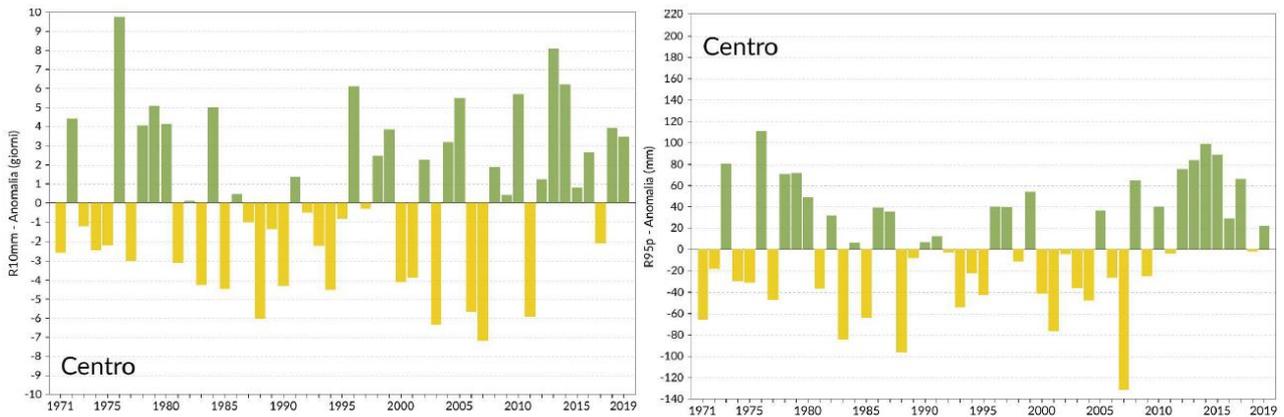


Figura 61 - Serie delle anomalie medie nel Centro Italia, del numero di giorni nell'anno con precipitazione superiore od uguale a 10 mm (R10mm) e delle precipitazioni nei giorni molto piovosi (R95p), rispetto al valore normale 1971-2000.

Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici

Una fonte importante di sintesi dello stato dell'arte degli studi sui Cambiamenti Climatici in Italia è il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (PNACC), attualmente in fase di avanzata elaborazione, di cui però non esiste ancora una versione definitiva (ad oggi è disponibile la documentazione redatta nel 2017). Il Piano, elaborato dal Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, riassume il quadro aggiornato delle tendenze climatiche in atto a livello nazionale e dei possibili scenari futuri e individua le possibili azioni di adattamento e i relativi strumenti di monitoraggio e valutazione dell'efficacia; di seguito se ne riassume i principali contenuti.

Nello studio sono state individuate, tramite la tecnica statistica della *cluster analysis*, le porzioni del territorio nazionale che potrebbero essere esposte a variazioni climatiche simili rapportandole ad una condizione climatica presente. Tali porzioni sono state definite "aree climatiche omogenee nazionali".

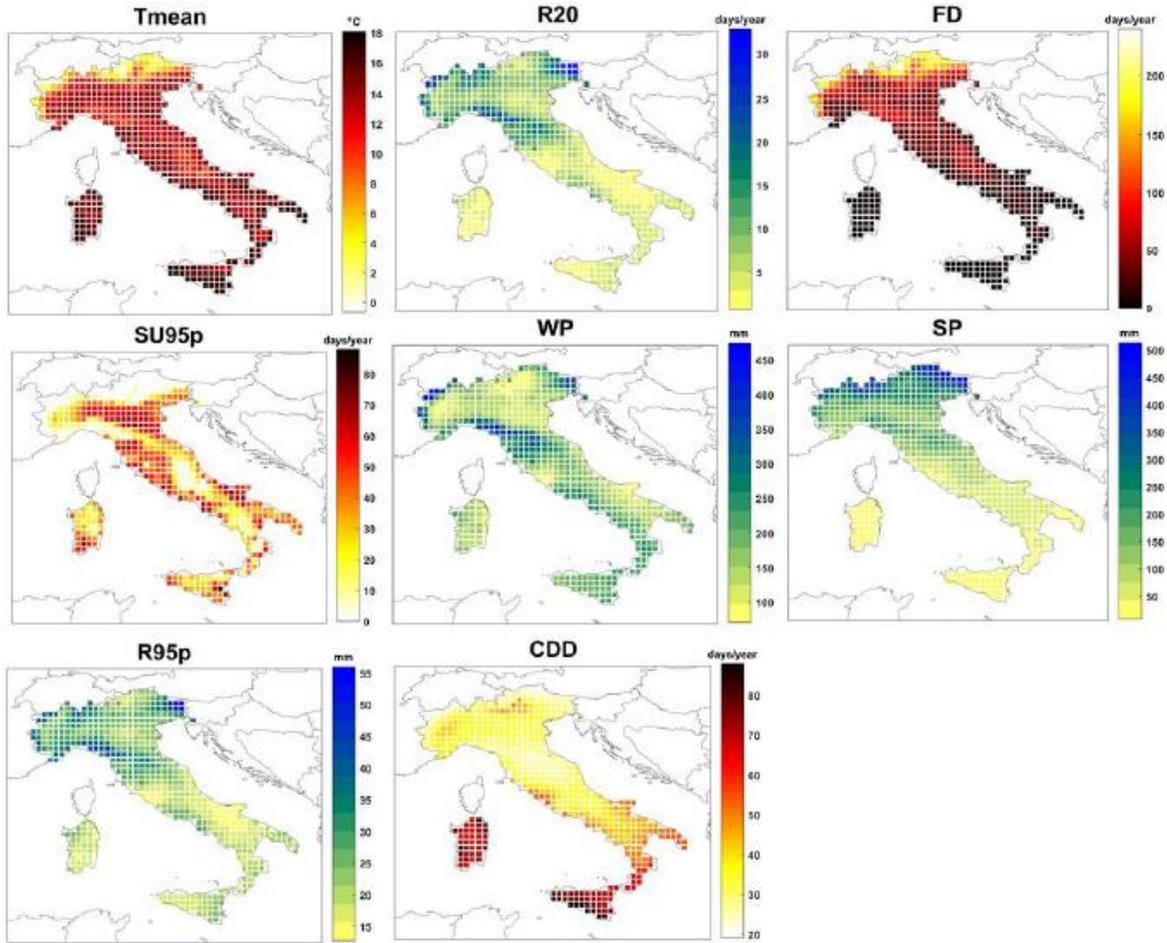
Il metodo di lavoro è stato basato sui seguenti passi:

- individuazione di sei "macroregioni climatiche omogenee": porzioni di territorio in cui sono state osservate condizioni climatiche simili negli ultimi trent'anni (1981-2010). Tale individuazione è stata effettuata tramite la *cluster analysis* applicata ad un set di indicatori climatici (cfr. tabella seguente);

Indicatore	Abbreviazione	Descrizione	Unità di misura
Temperatura media annuale	Tmean	Media annuale della temperatura media giornaliera	(°C)
Giorni di precipitazione intense	R20	Media annuale del numero di giorni con precipitazione giornaliera superiore ai 20 mm	(giorni/anno)
Frost days	FD	Media annuale del numero di giorni con temperatura minima al di sotto dei 0°C	(giorni/anno)
Summer days	SU95p	Media annuale del numero di giorni con temperatura massima maggiore di 29.2 °C (valore medio del 95° percentile della distribuzione delle temperature massime osservate tramite E-OBS)	(giorni/anno)
Cumulata delle precipitazioni invernali	WP	Cumulata delle precipitazioni nei mesi invernali (Dicembre, Gennaio, Febbraio)	(mm)
Cumulata delle precipitazioni estive	SP	Cumulata delle precipitazioni nei mesi estivi (Giugno, Luglio, Agosto)	(mm)
Copertura nevosa	SC	Media annuale del numero di giorni per cui l'ammontare di neve superficiale è maggiore di un 1 cm	(giorni/anno)
Evaporazione	Evap	Evaporazione cumulata annuale	(mm/anno)
Consecutive dry days	CDD	Media annuale del massimo numero di giorni consecutivi con pioggia inferiore a 1 mm/giorno	(giorni/anno)
95° percentile della precipitazione	R95p	95° percentile della precipitazione	(mm)

- analisi delle anomalie climatiche attese per il XXI secolo in termini di proiezioni di temperature e precipitazioni medie stagionali, considerando due trentenni (2021-2050 e 2071-2100) e due diversi scenari climatici RCP (RCP4.5 ed RCP8.5) a partire dai dati simulati dal modello climatico regionale COSMO-CLM;
- zonazione delle anomalie climatiche sulla base delle variazioni climatiche attese per il periodo 2021-2050 (RCP4.5 ed RCP8.5) per gli indicatori selezionati;
- individuazione di "aree climatiche omogenee", attraverso la sovrapposizione delle macroregioni climatiche omogenee e della zonazione delle anomalie, per definire aree con uguale condizione climatica attuale e stessa proiezione climatica di anomalia futura.

Nella figura seguente sono riportate le mappe degli indicatori climatici calcolate per il territorio nazionale. Gli indicatori sono stati raggruppati attraverso metodologie di *cluster analysis*, la quale ha condotto a definire sei "macroregioni climatiche omogenee" nell'arco temporale considerato (1981-2010). Ciascuna macroregione si caratterizza per valori simili degli indicatori considerati; i valori medi di questi ultimi per ciascuna macroregione sono illustrati in Tabella 38.



	Temperatura media annuale – Tmean (°C)	Giorni con precipitazioni intense – R20 (giorni/anno)	Frost days – FD (giorni/anno)	Summer days – SU95p (giorni/anno)	Precipitazioni invernali cumulate – WP (mm)	Precipitazioni cumulate estive – SP (mm)	95° percentile precipitazioni – R95p (mm)	Consecutive dry days – CDD (giorni)
Macroregione 1 Prealpi e Appennino settentrionale	13 (±0.6)	10 (±2)	51 (±13)	34 (±12)	187 (±61)	168 (±47)	28	33 (±6)
Macroregione 2 Pianura Padana, alto versante adriatico e aree costiere dell'Italia centro-meridionale	14.6 (±0.7)	4 (±1)	25 (±9)	50 (±13)	148 (±55)	85 (±30)	20	40 (±8)
Macroregione 3 Appennino centro-meridionale	12.2 (±0.5)	4 (±1)	35 (±12)	15 (±8)	182 (±55)	76 (±28)	19	38 (±9)
Macroregione 4 Area alpine	5.7 (±0.6)	10 (±3)	152 (±9)	1 (±1)	143 (±47)	286 (±56)	25	32 (±8)
Macroregione 5 Italia centro-settentrionale	8.3 (±0.6)	21 (±3)	112 (±12)	8 (±5)	321 (±89)	279 (±56)	40	28 (±5)
Macroregione 6 Aree insulari ed estremo sud Italia	16 (±0.6)	3 (±1)	2 (±2)	35 (±11)	179 (±61)	21 (±13)	19	70 (±16)

Tabella 38 - Valori medi e deviazione standard degli indicatori per ciascuna macroregione individuata

La Figura 62 riporta la zonazione climatica. L'area senese ricade nella macroregione 1 definita come "Prealpi e Appennino Settentrionale", caratterizzata da valori intermedi per quanto riguarda le precipitazioni cumulate invernali ed estive e da valori elevati, rispetto ad altre aree, per i fenomeni di precipitazione estremi (R20 ed R95p). Dopo la macroregione 2 risulta essere la zona del Nord Italia con il numero maggiore di *summer days* ovverosia con il numero di giorni in cui la temperatura massima ha un valore superiore al valore di soglia considerato (95esimo percentile).

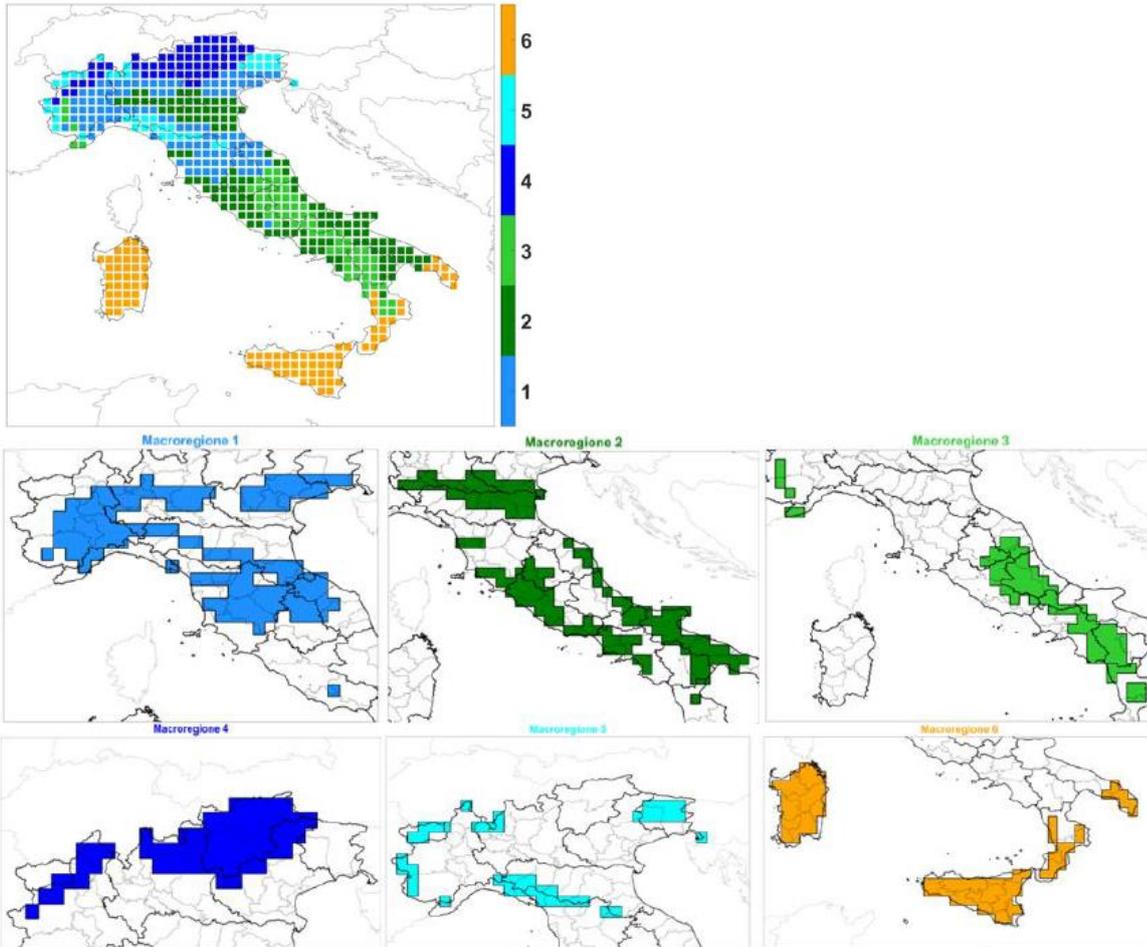


Figura 62 – Zonizzazione climatica nazionale di cui al PNACC

Lo step successivo nello studio è stato quello di individuare aree del territorio italiano omogenee in termini di anomalie climatiche. Nello specifico sono state valutate:

- le variazioni stagionali di temperatura e precipitazione per il medio (2021-2050) e lungo periodo (2071-2100);
- le anomalie trentennali (2021-2050 vs 1981-2010) degli indicatori selezionati per l'analisi della condizione climatica futura.

Tale analisi ha portato alla suddivisione del territorio nazionale in 5 cluster di anomalie (da "A" ad "E") così come di seguito rappresentati (per gli scenari considerati RCP4.5 ed RCP8.5).

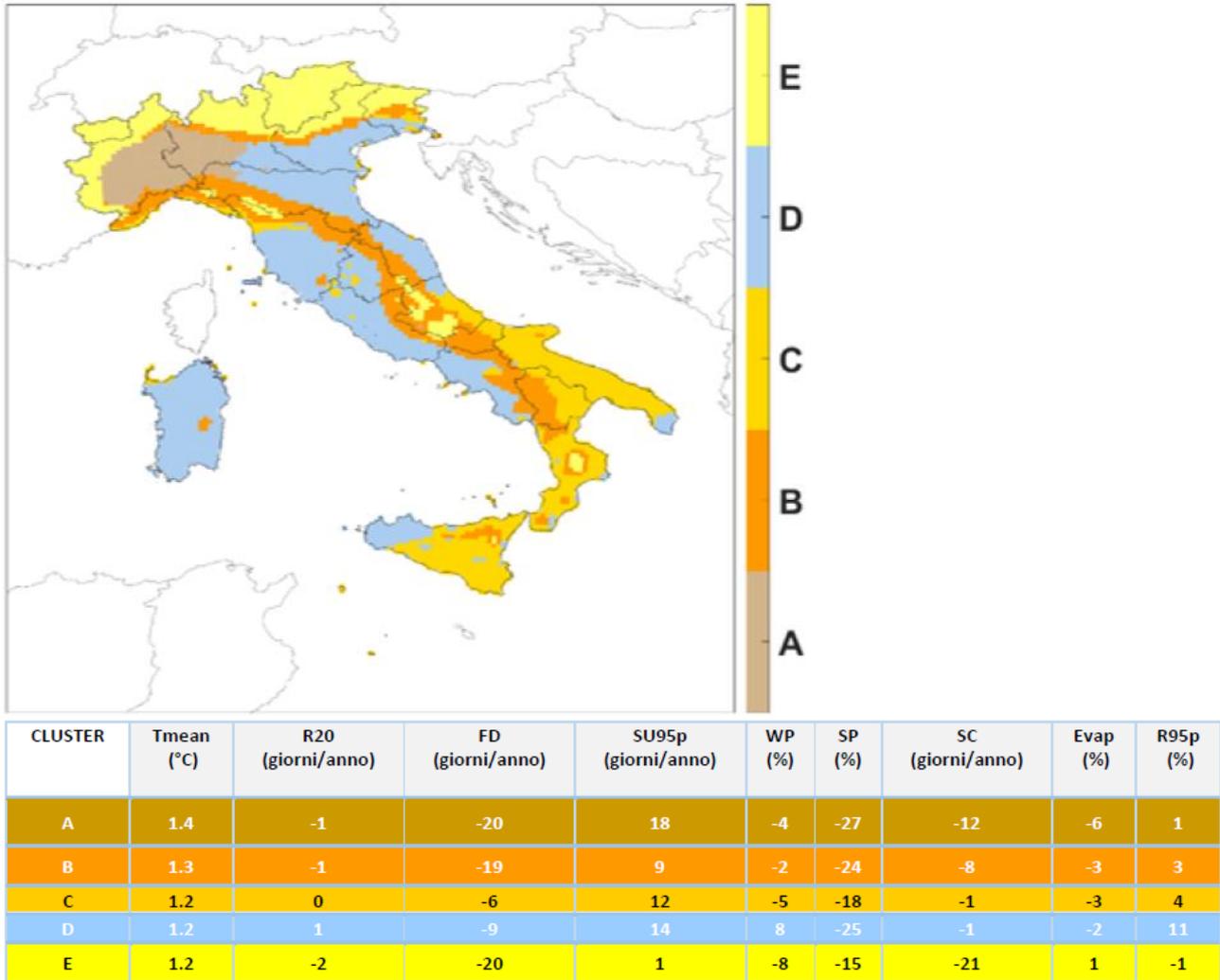


Figura 63 - Scenario RCP4.5: mappa dei cluster individuati e valori medi dei cluster individuati (COSMO RCP4.5 2021-2050 vs 1981-2010).

Per lo scenario RCP4.5 l'analisi evidenzia le seguenti caratteristiche.

Cluster A (caldo-secco estivo): il cluster è caratterizzato da un aumento significativo dei *summer days* (di 18 giorni/anno) e da una riduzione delle precipitazioni invernali e, soprattutto, di quelle estive (valore medio della riduzione pari al 27%). Il cluster A presenta una riduzione rilevante anche dei *frost days*, della copertura nevosa e dell'evaporazione.

Cluster B (caldo invernale-secco estivo): analogamente al cluster A, è interessato da una riduzione sia delle precipitazioni estive (valore medio della riduzione pari al 24%) sia dei *frost days* (di 19 giorni/anno). Si osserva anche una moderata riduzione della copertura nevosa (di 8 giorni/anno).

Cluster C (secco): in questo cluster si osserva una riduzione delle precipitazioni invernali, a cui si aggiunge anche la riduzione, sebbene di minor entità, di quelle estive. Inoltre, si ha un aumento moderato dei *summer days* (di 12 giorni/anno).

Cluster D (piovoso invernale-secco estivo): il cluster D è interessato da un aumento delle precipitazioni invernali (valore medio dell'aumento pari all'8%) e da una riduzione notevole di quelle estive (valore medio della riduzione pari al 25%). In generale si ha un aumento significativo sia dei fenomeni di precipitazione estremi (R95p) sia dei *summer days* (di 14 giorni/anno).

Cluster E (secco-caldo invernale): si osserva una riduzione generale dei fenomeni di precipitazione. Inoltre, si osserva una riduzione significativa dei *frost days* (di 20 giorni/anno) e della copertura nevosa (di 21 giorni/anno).

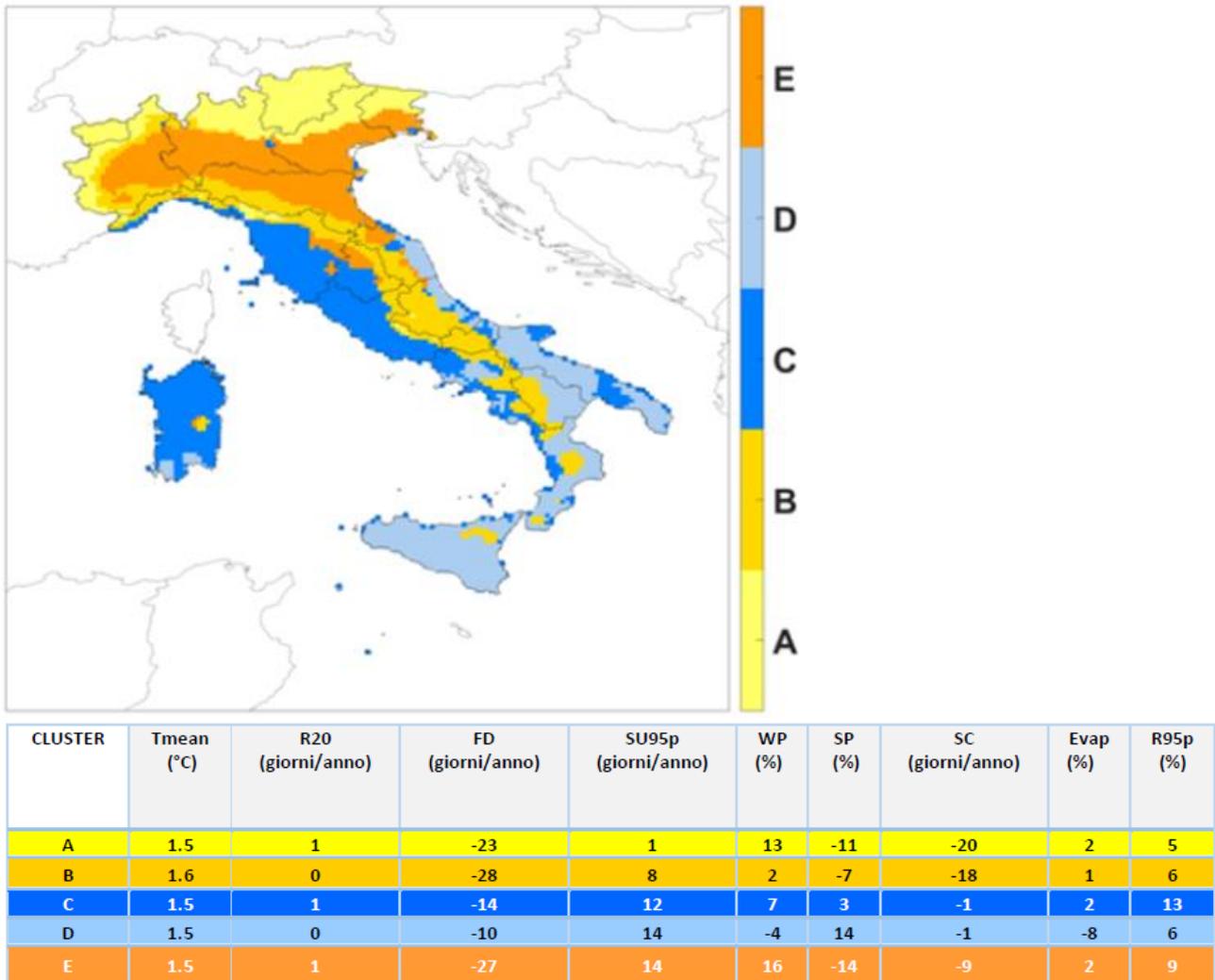


Figura 64 - Scenario RCP8.5: mappa dei cluster individuati e valori medi dei cluster individuati (COSMO RCP8.5 2021-2050 vs 1981-2010).

Per lo scenario RCP 8.5 l'analisi evidenzia le seguenti caratteristiche.

Cluster A (piovoso invernale-secco estivo): il cluster A è interessato da un aumento delle precipitazioni invernali (valore medio dell'aumento pari al 13%) e da una riduzione di quelle estive (valore medio della riduzione pari all' 11%). Inoltre si osserva una riduzione significativa sia dei *frost days* (di 23 giorni/anno) che della copertura nevosa (di 20 giorni/anno).

Cluster B (caldo invernale): il cluster B è interessato da una riduzione significativa sia dei *frost days* (di 28 giorni/anno) che della copertura nevosa (di 18 giorni/anno). Inoltre si osserva una riduzione moderata delle precipitazioni estive (valore medio della riduzione pari al 7%).

Cluster C (piovoso-caldo estivo): il cluster C è interessato da un aumento sia delle precipitazioni invernali che di quelle estive e da un aumento significativo dei fenomeni di precipitazione estremi (valore medio dell'aumento pari al 13%). Infine, si osserva un aumento rilevante dei *summer days* (di 12 giorni/anno).

Cluster D (secco invernale-caldo estivo): per il cluster D si osserva una complessiva riduzione di precipitazioni invernali e un aumento rilevante di quelle estive (si tenga conto che si tratta di valori percentuali calcolati rispetto a valori assoluti di precipitazione estiva caratteristici bassi). Inoltre si ha un aumento notevole dei *summer days* (di 14 giorni/anno) ed una riduzione complessiva dell'evaporazione (valore medio della riduzione pari all'8%).

Cluster E (caldo-piovoso invernale-secco estivo): il cluster risulta caratterizzato da un aumento significativo sia dei *summer days* (di 14 giorni/anno) che dei fenomeni di precipitazione estremi (valore medio dell'aumento pari al 9%). Inoltre si osserva una rilevante riduzione delle precipitazioni estive (valore medio della riduzione pari al 14%) ed un aumento significativo delle precipitazioni invernali (valore medio

dell'aumento pari al 16%). Il cluster E presenta anche una notevole riduzione dei *frost days* (di 27 giorni/anno).

Infine, dall'intersezione delle 6 macroregioni climatiche omogenee identificate con l'analisi del clima attuale ed i 5 cluster di anomalie, scaturiscono 13 principali "aree climatiche omogenee" per i due scenari (RCP4.5 e RCP8.5), ovverosia le aree del territorio nazionale con uguale condizione climatica attuale e stessa proiezione climatica di anomalia futura; di seguito se ne riassumono le principali caratteristiche.

Macroregioni climatiche omogenee	Descrizione delle aree climatiche omogenee principali che ricadono nelle macroregioni considerando lo scenario RCP4.5
1	<i>Aree climatiche omogenee: 1A, 1B e 1D.</i> <i>Anomalie principali:</i> in generale, per l'intera macroregione 1, si ha una riduzione rilevante delle precipitazioni estive e dei <i>frost days</i> . In particolare la macroregione 1 risulta piuttosto eterogenea in termini di aree climatiche omogenee presenti.
2	<i>Aree climatiche omogenee 2A, 2C, 2D.</i> <i>Anomalie principali:</i> il versante tirrenico e la maggior parte della Pianura Padana sono interessati da un aumento delle precipitazioni invernali e da una riduzione di quelle estive. Invece, per la parte ovest della pianura Padana e il versante adriatico, si osserva una riduzione sia delle precipitazioni estive che di quelle invernali. In generale si ha un aumento significativo dei <i>summer days</i> per l'intera macroregione 2.
3	<i>Aree climatiche omogenee: 3B, 3E.</i> <i>Anomalie principali:</i> per l'Appennino centro-meridionale si osserva una marcata riduzione delle precipitazioni estive, con l'area più interna caratterizzata da una riduzione delle precipitazioni sia estive che invernali. L'intera macroregione 3 presenta una riduzione complessiva dei <i>frost day</i> .
4	<i>Aree climatiche omogenee: 4E.</i> <i>Anomalie principali:</i> si osserva una riduzione degli eventi estremi, una riduzione complessiva dei <i>frost days</i> e della copertura nevosa.
5	<i>Aree climatiche omogenee: 5B, 5E.</i> <i>Anomalie principali:</i> all'interno della macroregione 5, caratterizzata in base al periodo di riferimento dai valori più rilevanti di precipitazione, si assiste ad una riduzione significativa delle precipitazioni e dei <i>frost days</i> .
6	<i>Aree climatiche omogenee: 6C, 6D.</i> <i>Anomalie principali:</i> per l'intera macroregione 6, area più calda e secca rispetto al periodo di riferimento, si osserva una complessiva riduzione delle precipitazioni estive ed un aumento moderato dei <i>summer days</i> . Inoltre la Sardegna e parte della Sicilia sono caratterizzate da un aumento delle precipitazioni invernali.

Tabella 39 - Descrizione delle macroregioni climatiche omogenee, RCP4.5 (PNACC)

Macroregioni climatiche omogenee	Descrizione delle aree climatiche omogenee principali che ricadono nelle macroregioni considerando lo scenario RCP8.5
1	<i>Aree climatiche omogenee: 1B, 1C e 1E.</i> <i>Anomalie principali:</i> Nella parte dell'area che ricade in Toscana si assiste ad un aumento complessivo dei fenomeni di precipitazione e degli estremi. Le restanti aree sono interessate da una riduzione delle precipitazioni estive ed aumento di quelle invernali. In generale si ha una riduzione dei <i>frost days</i> , più rilevante rispetto all'RCP4.5.
2	<i>Aree climatiche omogenee: 2C, 2D, 2E.</i> <i>Anomalie principali:</i> per quanto riguarda la pianura Padana si assiste ad una riduzione delle precipitazioni estive e ad un aumento rilevante di quelle invernali; le restanti aree della macroregione 2 sono caratterizzate da un aumento complessivo dei fenomeni di precipitazione anche estremi. In generale si ha un aumento significativo dei <i>summer days</i> , come per lo scenario RCP4.5.
3	<i>Aree climatiche omogenee: 3B, 3C, 3D.</i> <i>Anomalie principali:</i> per tutta la macroregione 3 si osserva una riduzione significativa dei <i>frost days</i> (maggiore rispetto all'RCP4.5). Per l'Appennino centro-meridionale si ha in generale una riduzione delle precipitazioni estive, mentre per le aree più esterne si assiste ad un aumento delle precipitazioni estive e dei fenomeni di precipitazione estremi.
4	<i>Aree climatiche omogenee: 4A.</i> <i>Anomalie principali:</i> si osserva una riduzione delle precipitazioni estive e un aumento di quelle invernali. Inoltre si ha una riduzione generale sia dei <i>frost days</i> che della copertura nevosa, come per lo scenario RCP4.5.
5	<i>Aree climatiche omogenee: 5A.</i> <i>Anomalie principali:</i> la macroregione 5, caratterizzata in base al periodo di riferimento dai valori più significativi di precipitazione, risulta caratterizzata da un aumento delle precipitazioni invernali e da una riduzione delle precipitazioni estive.
6	<i>Aree climatiche omogenee: 6C, 6D.</i> <i>Anomalie principali:</i> si osserva un aumento significativo degli eventi estremi e in generale delle precipitazioni estive, in opposizione a quanto osservato per lo scenario RCP4.5.

Tabella 40 - Descrizione delle macroregioni climatiche omogenee, RCP8.5 (PNACC)

A seguire, si riportano le risultanze dello studio per entrambi gli scenari di cui si è detto, per la macroregione n. 1 a cui afferisce l'area senese: include le Prealpi e l'Appennino settentrionale; l'area è caratterizzata da valori intermedi di precipitazioni invernali ed estive (dati climatici osservati) rispetto alle altre macroregioni climatiche e valori elevati di indicatori relativi ai fenomeni di precipitazione estremi (R20 e R95p). In rosso, sono evidenziati i dati e le informazioni riferite all'area in esame.

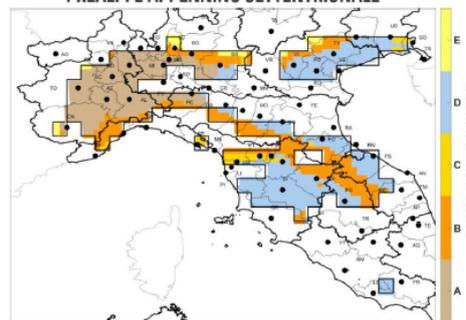
Temperatura media annua Tmean (°C)	Precipitazioni intense R20 (n. giorni/anno con precipitazioni >20mm)	Giorni con gelo FD (n. giorni/anno con Tmean <0°C)	Giorni estivi SU95p (n. giorni/anno con Tmax > 29.2 °C)	Cumulata delle precipitazioni invernali WP (mm)	Cumulata delle precipitazioni estive SP (mm)	95° percentile della precipitazione R95p (mm)	Numero massimo di giorni asciutti consecutivi CDD (giorni/anno)
13 (±0.6)	10 (±2)	51 (±13)	34 (±12)	187(±61)	168 (±47)	28	33 (±6)

RCP 4.5-Aree climatiche omogenee: 1A, 1B e 1D.

Anomalie principali: La macroregione 1 risulta essere piuttosto eterogenea in termini di aree climatiche omogenee presenti. Le proiezioni indicano una riduzione rilevante delle precipitazioni estive e dei giorni con gelo e un incremento dei giorni con temperature superiori a 29.2°C (giorni estivi).

	A	B	D
Tmean (°C)	1.4	1.3	1.2
R20 (giorni/anno)	-1	-1	1
FD (giorni/anno)	-20	-19	-9
SU95p (giorni/anno)	18	9	14
WP (mm) (%)	-4	-2	8
SP (mm) (%)	-27	-24	-25
SC (giorni/anno)	-12	-8	-1
Evap (mm/anno) (%)	-6	-3	-2
R95p (mm) (%)	1	3	11

MACROREGIONE 1
 PREALPI E APPENNINO SETTENTRIONALE

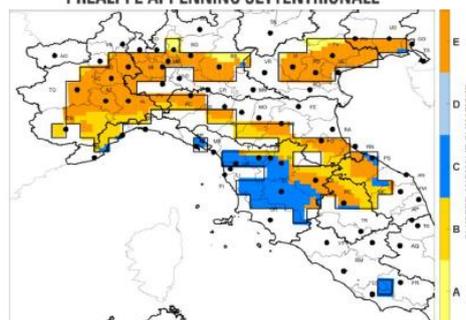


RCP 8.5-Aree climatiche omogenee: 1B, 1C e 1E.

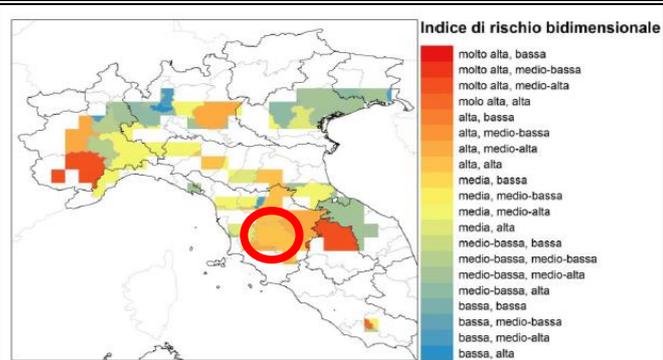
Anomalie principali: Nell'area che ricade in Toscana si assiste ad un aumento complessivo dei fenomeni di precipitazione stagionali e degli estremi. Nelle altre aree è attesa una riduzione delle precipitazioni estive ed un aumento di quelle invernali. Si ha una riduzione dei giorni con gelo più rilevante rispetto all'RCP4.5.

	B	C	E
Tmean (°C)	1.6	1.5	1.5
R20 (giorni/anno)	0	1	1
FD (giorni/anno)	-28	-14	-27
SU95p (giorni/anno)	8	12	14
WP (mm) (%)	2	7	16
SP (mm) (%)	-7	3	-14
SC (giorni/anno)	-18	-1	-9
Evap (mm/anno) (%)	1	2	2
R95p (mm) (%)	6	13	9

MACROREGIONE 1
 PREALPI E APPENNINO SETTENTRIONALE



INDICAZIONE DELLA PROPENSIONE AL RISCHIO: Le aree della macroregione 1 presentano valori di propensione al rischio attesi per il periodo 2021-2050 molto eterogenei. Valori di propensione al rischio alti e medio-alti sono localizzati in prevalenza nelle province centro-settentrionali e nord-occidentali caratterizzate da impatti potenziali molto alti e bassa capacità adattativa.



SETTORE	MINACCE	OPPORTUNITÀ	LIVELLO DI IMPATTO POTENZIALE
Trasporti	Allagamento delle infrastrutture di trasporto terrestri; aumento del rischio per pavimentazioni bagnate; cedimento di argini e terrapieni; erosione alla base dei ponti; impatti indiretti legati alla stabilità dei versanti. Diminuzione del mantenimento dei livelli di qualità ambientale (raffrescamento) nel trasporto pubblico su gomma e ferroviario in seguito ad ondate di calore.	Effetti positivi sulla manutenzione di strade e ferrovie. Incremento dei periodi utili di costruzione dovuti a innalzamento delle temperature nei mesi invernali.	ALTO

7.2 Impatti

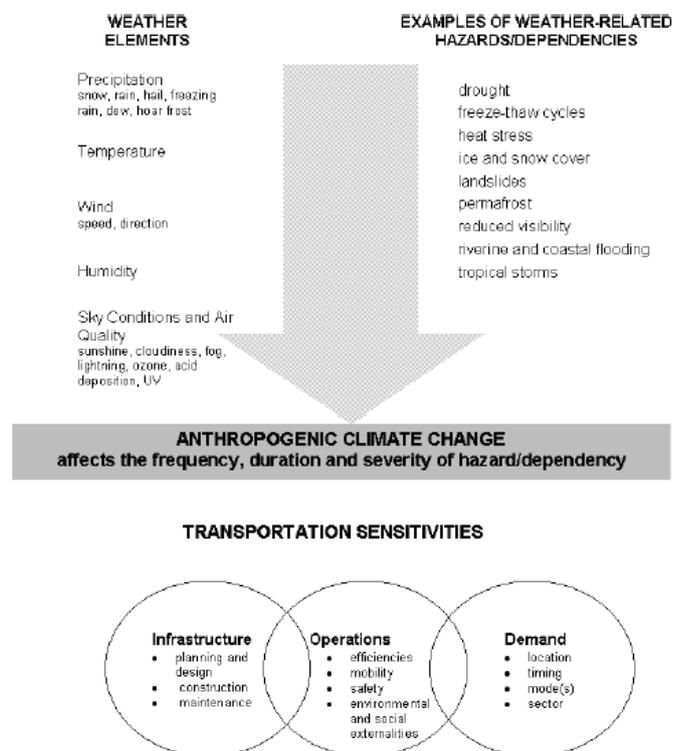
Si specifica che per quanto riguarda la componente in oggetto sono stati analizzati possibili fenomeni locali riscontrabili nell'ambito di interventi simili legati ai trend climatici già evidenti allo stato attuale, quali l'aumento delle temperature invernali ed estive, l'aumento delle precipitazioni e delle alluvioni, con l'obiettivo di fornire indirizzi ai successivi approfondimenti progettuali, secondo criteri di resilienza ed adattamento climatico.

Non si tratta pertanto di impatti determinati dall'intervento, ma possibili scenari rispetto ai quali l'intervento dovrà misurarsi.

I cambiamenti climatici in atto interagiscono inevitabilmente con il sistema naturale e antropico nel suo complesso, determinando opportunità e minacce che richiedono una profonda consapevolezza per una loro corretta gestione. La mobilità è uno dei cardini di ogni sistema economico e sociale, la movimentazione di persone e merci è fondamentale per la produzione di beni e per una buona qualità della vita delle popolazioni. Il rapporto tra mobilità e cambiamenti climatici è complesso: da un lato il contributo emissivo dei trasporti risulta secondo per dimensione alla sola industria energetica ed il suo peso percentuale è in aumento (ancorché in diminuzione in termini assoluti) all'interno del totale delle emissioni. Dall'altro il sistema dei trasporti è sempre più sottoposto alle variazioni climatiche ed inizia a mostrare situazioni di criticità, per ora, limitate nella durata e nell'estensione.

Gli impatti sul sistema dei trasporti riconducibili ai cambiamenti climatici possono essere di tipo diretto o indiretto. Con impatto diretto si indica un effetto del cambiamento climatico che incide direttamente sul funzionamento del sistema, ad esempio una pioggia di eccezionale intensità che manda in crisi il sistema di smaltimento delle acque meteoriche. Impatti indiretti sono viceversa quelli che innescano fenomeni che possono interagire negativamente sul sistema dei trasporti, ad esempio l'aumento della probabilità di dissesti idrogeologici dovuti alle variazioni del regime pluviometrico, costituiscono impatti a sé stanti, che possono coinvolgere il territorio edificato così come il sistema della mobilità.

Il cambiamento climatico si manifesta sia come lenta modifica dei valori medi sia come alterazione delle probabilità di ricorrenza di eventi estremi. Entrambi questi aspetti possono mettere sotto stress il sistema della mobilità. La figura a margine è rappresentativa degli aspetti dei trasporti potenzialmente sensibili ai cambiamenti climatici. Nella seguente tabella, sulla base delle informazioni contenute nell'Allegato 2 del PNACC, si riportano i principali impatti associati ai fenomeni che accompagnano i cambiamenti climatici in atto.



Fenomeno	Impatti associati
<p>Aumento delle temperature estive</p>	<p>L'aumento delle temperature estive interessa le infrastrutture di trasporto per le quali la resistenza dei materiali e della struttura è vulnerabile alla temperatura. In particolare il fenomeno si manifesta, e nel caso accentua, laddove sono presenti superfici estese ad esempio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • superfici stradali asfaltate importanti (autostrade e strade a più corsie); • piste aeroportuali; • piazzali di sosta o di manovra (nelle città, nei nodi di interscambio, nei porti e negli aeroporti). <p>Gli effetti dell'aumento della temperatura possono indurre una modificazione delle caratteristiche funzionali delle pavimentazioni e determinarne quindi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • un degrado accelerato nel tempo (che richiede interventi manutentivi più importanti o ravvicinati); • una riduzione della sicurezza nell'uso della struttura ad esempio per variazione del rapporto di aderenza tra la superficie pavimentata e la ruota. <p>La presenza di superfici asfaltate (scure) inoltre accentua il surriscaldamento della superficie stessa e dell'ambiente circostante come evidenziato dagli studi legati all'isola di calore urbana. Gli impatti legati all'aumento delle temperature possono interessare anche le strade ferrate laddove l'espansione termica delle leghe dei binari arrivi a deformarli. Una anche minima variazione dell'asse dei binari o della loro sagoma risulta particolarmente pericolosa per la sicurezza del servizio ferroviario, a maggior ragione all'interno della rete europea (e nazionale) di treni ad alta velocità. Una deformazione dei binari può portare in casi estremi al deragliamento, e più frequentemente ad una riduzione della velocità di percorrenza a garanzia della sicurezza, impattando quindi il livello di servizio ferroviario. L'innalzamento della temperatura impatta anche localmente, laddove esistono delle fragilità particolari nella struttura ad esempio nei giunti dei ponti e delle grandi strutture.</p> <p>A livello operativo l'aumento delle temperature può mettere a prova la performance di locomozione dei veicoli a motore termico. Questo aspetto viene inoltre aggravato dalla necessità, per il mantenimento di un livello di qualità del servizio accettabile, dalla necessità di raffreddare gli ambienti per i passeggeri. Autobus e carrozze ferroviarie devono prevedere sistemi di raffreddamento efficiente che inducono un sovraccarico di lavoro per la meccanica dei veicoli (oltre che un aumento dei consumi energetici). Il raffreddamento interessa anche gli ambienti di attesa degli utenti, siano essi stazioni ferroviarie che metropolitane.</p> <p>L'aumento delle temperature comporta un disagio per gli utenti tale da influire sulla propensione alla ciclabilità e pedonalità, riducendo tale quota modale. Sebbene in Italia il peso del sistema di trasporto fluviale sia marginale, l'aumento delle temperature estive e fenomeni di siccità prolungate può riflettersi su una riduzione del livello dei bacini tale da mettere in difficoltà (e sospendere) tratte di trasporto fluviale. In particolare, il cambiamento climatico atteso nella macroregione padana si caratterizzerà per un diverso pattern di precipitazioni tali da incrementare sensibilmente variazioni di portata del fiume Po e quindi la profondità di acqua utile alla navigazione. Si renderanno pertanto necessarie azioni di dragaggio dell'alveo fluviale più frequenti e più profonde anche in funzione del maggiore pescaggio delle attuali navi cargo impiegate nella navigazione mercantile in modalità marefiume.</p>
<p>Aumento delle temperature invernali</p>	<p>L'aumento delle temperature invernali costituisce un potenziale impatto positivo sul sistema dei trasporti:</p> <ul style="list-style-type: none"> • riduce il rischio di gelate e di conseguente danno della superficie asfaltata; • riduce quindi la necessità di manutenzione della struttura. <p>Ulteriori benefici da valutare rispetto alla riduzione degli eventi nevosi e dei giorni di freddo (gelo) sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> • riduzione degli interventi di rimozione della neve; • riduzione degli interventi di applicazione sistemi antigelo; • aumento della sicurezza degli utenti alla guida; • aumento della propensione all'uso di modi non motorizzati (pedonalità e ciclabilità). <p>Tecnicamente la modifica delle temperature invernali deve essere considerata all'interno della progettazione dei lavori e delle realizzazioni di opere, in particolare per la posa degli asfalti bituminosi, nel cadenzare adeguatamente i periodi utili di costruzione.</p>

<p>Aumento delle precipitazioni e delle alluvioni</p>	<p>Gli impatti diretti dell'aumento delle precipitazioni (anche sotto forma di eventi estremi) sulle infrastrutture di trasporto sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'erosione alla base dei ponti o delle strutture di trasporto; • il cedimento di argini e terrapieni per erosione; • il danneggiamento delle superfici asfaltate per allagamento o erosione dovuto allo scorrimento delle acque (in particolare l'erosione accentua danni o imperfezioni preesistenti); • il drenaggio e la gestione delle acque pluviali raccolte su ampie superfici impermeabilizzate quali strade a più corsie, parcheggi, piazzali aeroportuali o portuali. <p>La gestione delle acque pluviali sulle superfici impermeabilizzate viene considerata un problema strutturale in quanto la relativa soluzione va affrontata adeguando l'infrastruttura o il relativo progetto, prevedendo sistemi di raccolto più capienti ed efficaci, valutando geometrie materiali e tecnologie utili a contenere gli allagamenti delle sedi pavimentate.</p> <p>Il rischio maggiore, collegato agli eventi piovosi estremi ed in generale all'aumento delle precipitazioni, è di natura indiretta: alterazioni del territorio quali frane e cedimenti che interessino le infrastrutture di trasporto. Tale aspetto è particolarmente rilevante in alcune zone del territorio nazionale, ma richiede una trattazione concertata con il settore relativo alla gestione del territorio e la difesa del suolo.</p> <p>A livello di operatività gli impatti principali che si manifestano sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'aumentato rischio nella circolazione veicolare per pavimentazioni bagnate (riduzione dell'aderenza e della visibilità); • la sospensione dell'operatività per allagamento delle infrastrutture quali strade, autostrade aeroporti, e di sistemi ipogei; • difficoltà di circolazione pedonale e ciclistica nelle aree urbanizzate allagate; • la rimessa in funzione degli stessi sistemi richiede inoltre interventi straordinari di manutenzione e pulizia dei residui lasciati dall'allagamento.
<p>Aumento valori estremi di ventosità e loro frequenza</p>	<p>I fenomeni di aumento e di eventi estremi di ventosità possono creare danni alle strutture e sovrastrutture ferroviarie, nei porti (veicoli/macchine per la movimentazione, gru, gru a ponte) ed aeroporti (impianti quali antenne, sistemi di rilevamento). In generale la segnaletica verticale può subire danni e, se divelta, costituire essa stessa un pericolo. Per quanto riguarda l'operatività l'impatto si può esprimere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nelle fasi di decollo ed atterraggio degli aeromobili; • nella movimentazione delle merci (container) nei porti e negli interporti; • nell'aumentato rischio per la guida (sulle strade) in particolare per i mezzi pesanti; • disagio ed aumentato rischio per ciclabilità e pedonalità.
<p>Degradamento del permafrost</p>	<p>La variazione climatica relativa al degradamento del permafrost influisce sul sistema di trasporto all'interno di un quadro di degrado della stabilità del suolo. Il danneggiamento o l'alterazione delle caratteristiche della struttura stradale per cedimento del suolo - ed il relativo conseguente impatto sulla funzionalità del sistema - vanno trattati coerentemente all'impatto originale ovvero all'interno degli aspetti di difesa del suolo al fine di prevedere, evitare e contenere i cedimenti infrastrutturali.</p>

Tabella 41 - Impatti sul sistema dei trasporti, associati ai cambiamenti climatici (Allegato 2 PNACC)

Le figure riportate nelle due pagine seguenti, tratte dall'Allegato 4 del PNACC, sintetizzano graficamente le opportunità e le minacce della Macroregione 1 in cui ricade l'area senese.

La tendenza indica come "stressor" climatici principali:

- l'aumento delle precipitazioni anche estreme, con possibili criticità in tutta l'area toscana;
- la riduzione dei *frosty days* invernali;
- la tendenza all'aumento delle temperature estive.

A fronte della tipologia del progetto in esame, le potenziali criticità legate al cambiamento climatico sono sostanzialmente rappresentate da:

- un degrado accelerato nel tempo ed una riduzione della sicurezza nell'uso delle superfici asfaltate (nuove viabilità e zone di parcheggio) dovuto all'innalzamento delle temperature;
- danneggiamento delle superfici asfaltate in presenza di eventi pluviometrici estremi;
- insufficiente drenaggio delle acque meteoriche dai piazzali e, in generale, sottodimensionamento dei sistemi di drenaggio in presenza di eventi anomali.

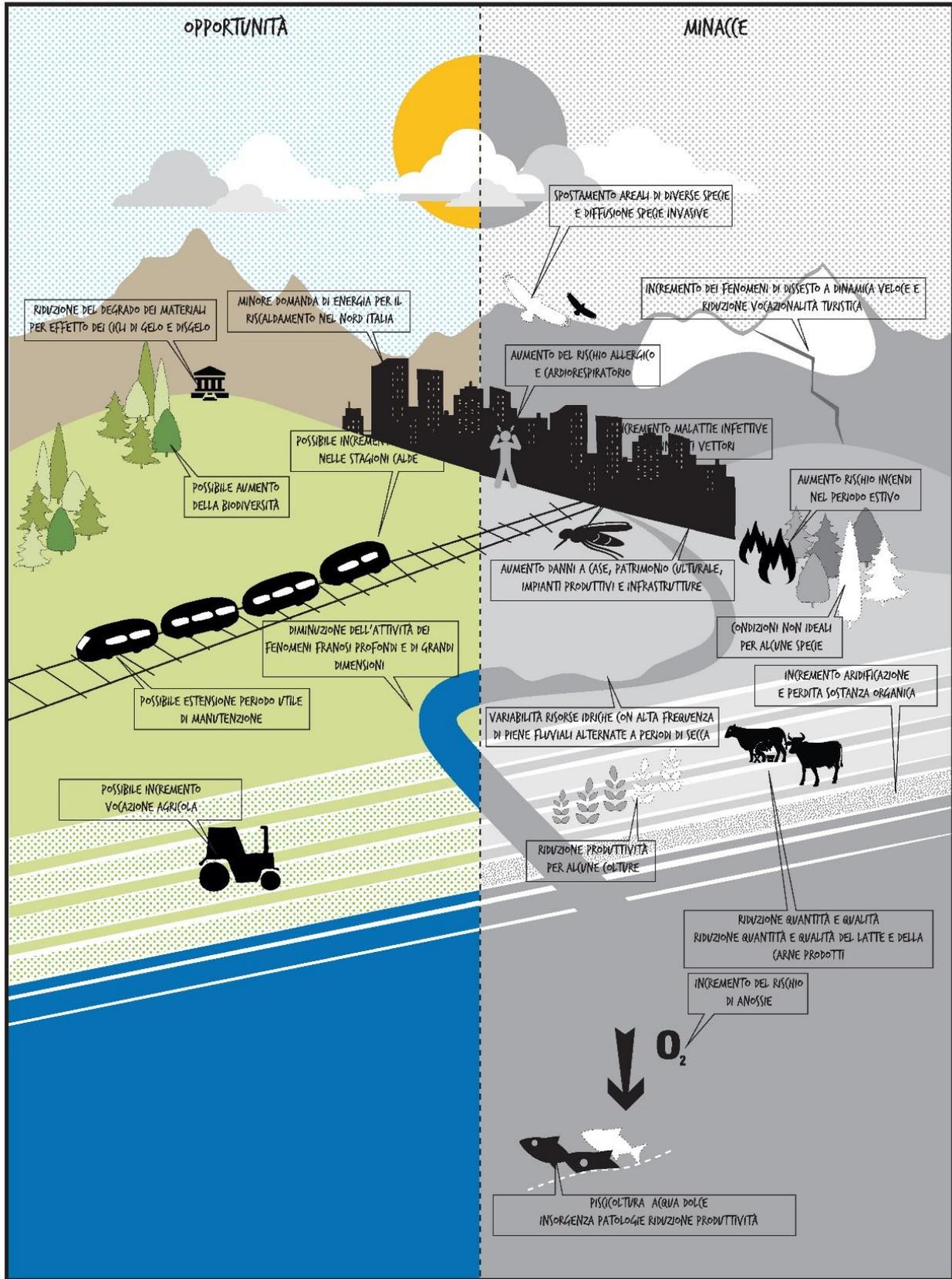
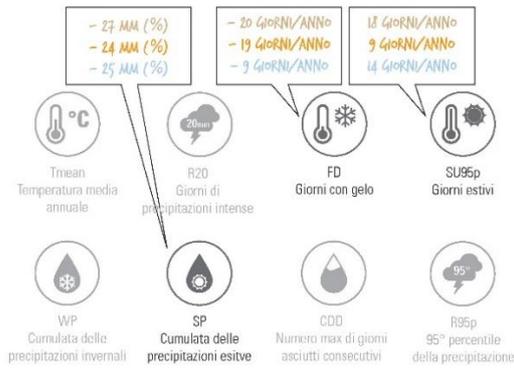
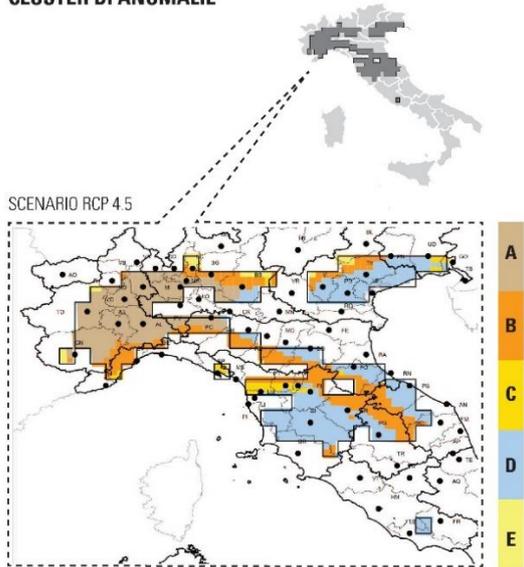


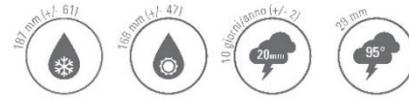
Figura 65 - Opportunità e minacce Macroregione 1 – Infografiche (1/2) (Allegato 4 PNACC)

Le aree della macroregione 1 presentano valori di propensione al rischio molto eterogenei. Valori di propensione al rischio alti e medio-alti sono localizzati in prevalenza nelle province centro-settentrionali e nord-occidentali caratterizzate da impatti potenziali molto alti e bassa capacità adattativa.

CLUSTER DI ANOMALIE

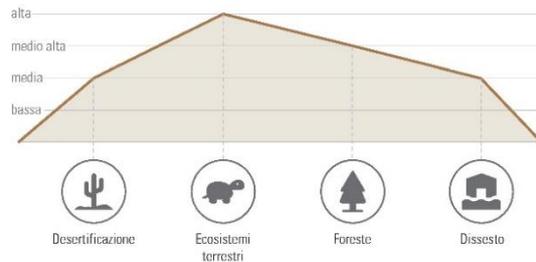


ESPOSIZIONE DEL CAPITALE

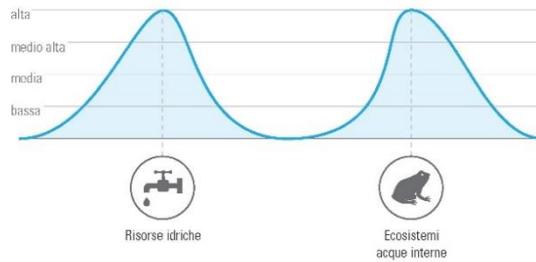


LIVELLO DI PERICOLOSITÀ / SENSIBILITÀ

TERRA



ACQUA



UOMO

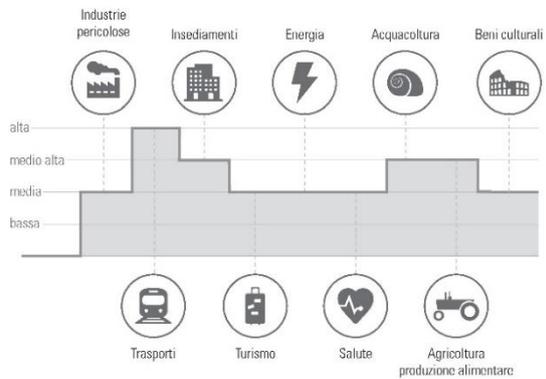


Figura 66 - Opportunità e minacce Macroregione 1 – Infografiche (2/2) (Allegato 4 PNACC)

BIBLIOGRAFIA E FONTI CONSULTATE

Valutazione di impatto ambientale, Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale, Approvato dal Consiglio SNPA, Roma, maggio 2020

Piano Regionale per la Qualità dell'Aria ambiente, Regione Toscana (2018).

Report pluviometrici prodotti dal Settore Idrologico Regionale – Direzione Regionale Difesa del Suolo e Protezione Civile – Regione Toscana (2019).

Analisi dei dati termometrici, report anno 2019, Settore Idrologico Regionale – Direzione Regionale Difesa del Suolo e Protezione Civile – Regione Toscana.

Inventario Regionale sulle Sorgenti di Emissione in aria ambiente IRSE – aggiornamento anno 2010, Regione Toscana.

Italian Emission Inventory 1990-2018, Informative Inventory Report 2020, ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2018. National Inventory Report 2020, ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Relazione annuale sullo stato della qualità dell'aria nella regione Toscana. Anno 2019, Centro Regionale Tutela Qualità dell'Aria, ARPAT Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana.

Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Fifth Assessment Report, IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections, IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

ESPON CLIMATE - Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies, redatto nell'ambito del Programma europeo ESPON 2013 (Network Europeo di Osservazione dello Sviluppo e Coesione Territoriali).

Gli indicatori del clima in Italia nel 2019, ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (PNACC), Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (2017).

Linee guida per la gestione dei cantieri ai fini della protezione ambientale, ARPA Toscana (2018).

Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti, ARPA Toscana (adottate con d.g.p. n. 213 del 03 novembre 2009 della Provincia di Firenze).

SITOGRAFIA

<https://www.sir.toscana.it/index.php>.

<http://www.lamma.rete.toscana.it/>

<https://www.regione.toscana.it/-/inventario-regionale-sulle-sorgenti-di-emissione-in-aria-ambiente-irse>

<http://www.aci.it/>

<http://www.arpat.toscana.it/>

<http://www.airquality.org/>

<http://www.airquality.org/Businesses/CEQA-Land-Use-Planning/CEQA-Guidance-Tools>

<http://www.arb.ca.gov/homepage.htm>

<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>