

MC&P

Lungarno Benvenuto Cellini, 13
50125 Firenze - Italia
tel: +39 055 538851
mail: alvise.tassi@pec.architettifirenze.it
Arch. Alvise Tassi

Via Aretina, 161
50136 Firenze - Italia
tel: +39 055 674610
mail: r.bartoloni@redarchitetti.it

TIMP
SERGIO
GIUSEPPINI
ENGINEERING

Viale Francesco Petrarca, 116
50124 Firenze - Italia
tel: +39 055 220203
mail: ufficio.tecnico@stimpsrl.eu
Ing. Sergio Giuseppini

ambiente
ingegneria ambientale

Via Frassina, 21
54033 Nazzano - Carrara (MS) - Italia
tel: +39 0585 855624
mail: home@ambientesc.it
Ing. Francesca Tamburini

Via Galileo Galilei, 1A
50012 Bagno a Ripoli (FI) - Italia
tel: +39 3397609603
mail: ale_piazzini@libero.it

First Steps into Nursing International

Via Livorno, 8/37
50142 Firenze - Italia
tel: +39 055 7251127
mail: info@orisha.it
Ing. David Settesoldi

 Aleph

Via Giosuè Carducci, 17
50121 Firenze - Italia
tel: +39 055 359734
mail: info@alephprogetti.com
Ing. Luigi Costalli

Via Andrea Da Pontedera, 67/69
50143 Firenze - Italia
mail: santini@sferasifirenze.it

marsigliab
landscape architecture biology

Via Porrettana, 88
40135 Bologna - Italia
tel: +39 051 6440160
mail: info@marsigliab.com
Arch. Filippo Marsigli

Piano Attuativo con contestuale variante al P.S. e al P.O. per l'attuazione dell'Area di Trasformazione TR 04d

Viale Aldo Moro
Scandicci (FI)

Unicoop Firenze Società Cooperativa

Via Santa Reparata, 43
50129 - Firenze (FI)

PA.EG.01.06.R0

Valutazione degli impatti in atmosfera (Studio Meteo Diffusionale)

[illegible]

SPAZIO RISERVATO ALL'AMMINISTRAZIONE

Piano Attuativo e contestuale Variante al PS e PO per l'area di trasformazione Tr04d Via Aldo Moro, Scandicci (FI)

Verifica di assoggettabilità a VAS

Valutazione degli impatti in atmosfera (Studio meteo diffusionale)

Gruppo di lavoro:

Coordinamento tecnico:

Ing. Francesca Tamburini

Ing. Clarissa Di Rico

Dott.ssa Mariagrazia Equizi

Dott.ssa Rossella Valente

Sommario

Premessa	4
1 Inquadramento territoriale	5
2 Valutazione della qualità dell'aria	6
1.1 La normativa di riferimento	6
2.1 Caratterizzazione dello stato attuale della qualità dell'aria	10
3 Meteorologia e climatologia	18
3.1 Dati meteorologici	18
4 Approccio metodologico	22
4.1 Scelta e tipologie di modelli diffusionali	22
4.2 Modello di dispersione	24
4.2.1 Aermod	24
4.2.2 Aermet	25
4.2.3 Aermap	26
5 Valutazione dell'impatto sulla componente atmosfera e stima delle concentrazioni inquinanti al suolo 27	
5.1 Parametri di calcolo	27
5.2 Stima delle emissioni	29
5.3 Dominio di calcolo	37
6 Risultati	38
6.1 Calcolo degli Ossidi di Azoto e Biossido di Azoto ARM2	38
6.2 Valutazione dei risultati	40
6.2.1 Scenario attuale – mappe di concentrazione	43
6.2.2 Scenario di progetto – mappe di concentrazione	47
7 Conclusioni	52

Premessa

La presente relazione costituisce parte integrante del **Documento preliminare** redatto ai fini della procedura di **Verifica di assoggettabilità a VAS** ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., ed è finalizzata all'analisi dell'impatto potenziale dell'intervento urbanistico previsto nell'ambito della proposta di **Piano Attuativo (PA) con contestuale Variante al Piano Strutturale (PS) e Piano Operativo (PO), relativo all'Area di trasformazione TR 04d**, localizzata nel territorio del Comune di Scandicci.

L'intervento prevede la **realizzazione del nuovo Centro Direzionale COOP**, con conseguente dismissione dell'attuale sede ubicata in località Pontignale, e si inserisce all'interno di un più ampio processo di riqualificazione urbana che interessa l'ambito compreso tra i due lati di **Viale Aldo Moro**, direttrice viaria principale di accesso alla città, recentemente interessata dall'introduzione del sistema tramviario.

In particolare, il documento si concentra sulla valutazione degli **effetti attesi sulla qualità dell'aria** conseguenti all'attuazione del piano, in fase di esercizio delle funzioni previste. L'area interessata riveste un ruolo strategico nel contesto urbano, essendo localizzata lungo uno dei principali assi viari di accesso alla città e in prossimità della linea tramviaria, fattori che incidono significativamente sulla dinamica del traffico e, di conseguenza, sulle emissioni in atmosfera.

In considerazione della complessità ed importanza della matrice ambientale e del particolare ambito urbano di inserimento della infrastruttura, si è ritenuto utile presentare i contenuti del presente capitolo attraverso la seguente articolazione:

- analisi della normativa di riferimento applicabile e dei relativi limiti;
- analisi dei principali strumenti di pianificazione di settore e verifica della relativa coerenza del progetto;
- caratterizzazione iniziale dello stato di qualità dell'aria e dei fattori di pressione antropica presenti;
- caratterizzazione del regime climatologico e identificazione dei dati di base utilizzati a supporto della modellistica numerica;
- identificazione e valutazione degli impatti correlati alla fase di esercizio dell'opera.

La valutazione dell'impatto atmosferico è condotta in coerenza con gli obiettivi di tutela della salute umana e dell'ambiente, tenendo conto dei **principali inquinanti atmosferici normati**, in particolare: NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, CO e Benzene.

La modellistica numerica implementata per la valutazione degli effetti ambientali correlate all'esercizio della futura infrastruttura muove, ovviamente, a partire dalle risultanze dello *studio trasportistico* a cui si rimanda alla consultazione per maggiori dettagli tecnici.

1 Inquadramento territoriale

L'area di realizzazione si trova nel comune di Scandicci, nell'area collinare a ovest di Firenze, come mostrato nella figura seguente.

Figura 1. Inquadramento territoriale



Ai fini della presente valutazione è stato individuato un **dominio di calcolo** pari a 3.2 km, direzione W-E, per 2.2 km direzione N-S sufficientemente esteso per comprendere i principali ricettori.

2 Valutazione della qualità dell'aria

La conoscenza dei principali processi responsabili dei livelli di inquinamento è un elemento indispensabile per definire le politiche da attuare in questo settore. In tal senso uno degli strumenti conoscitivi principali è quello di avere e mantenere un sistema di rilevamento completo, affidabile e rappresentativo.

La valutazione della qualità dell'aria viene effettuata mediante la verifica del rispetto dei valori limite degli inquinanti, ma anche attraverso la conoscenza delle sorgenti di emissione e della loro dislocazione sul territorio, tenendo conto dell'orografia, delle condizioni meteorologiche, della distribuzione della popolazione, degli insediamenti produttivi. La valutazione della distribuzione spaziale delle fonti di pressione fornisce elementi utili ai fini dell'individuazione delle zone del territorio regionale con regime di qualità dell'aria omogeneo per stato e pressione.

Di seguito si riporta una caratterizzazione della qualità dell'aria del territorio in esame, con valori misurati dalle stazioni della rete regionale e valutazioni in riferimento ai limiti normativi.

1.1 La normativa di riferimento

L'Unione Europea negli anni ha emanato una serie di direttive al fine di controllare il livello di alcuni inquinanti in aria. In particolare, si evidenziano le seguenti Direttive:

- Direttiva 96/62/CE relativa alla “valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente”; stabilisce il contesto entro il quale effettuare la valutazione e la gestione della qualità dell'aria secondo criteri armonizzati in tutti i paesi dell'unione europea (direttiva quadro), demandando poi a direttive “figlie” la definizione dei parametri tecnico-operativi specifici per gruppi di inquinanti;
- Direttiva 99/30/CE relativa ai “valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo”, stabilisce i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo (prima direttiva figlia);
- Direttiva 00/69/CE relativa ai “valori limite di qualità dell'aria ambiente per benzene ed il monossido di carbonio”, stabilisce i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio (seconda direttiva figlia);
- Direttiva 02/03/CE relativa all’“ozono nell'aria” (terza direttiva figlia);
- Direttiva 2001/81/CE relativa ai limiti massimi per le emissioni annue degli Stati membri di biossido di zolfo (SO₂), ossidi di azoto (NO_x), composti organici volatili non metanici (COV) e ammoniaca (NH₃);
- Direttiva 04/107/CE relativa all’“arsenico, cadmio, mercurio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici in aria” che fissa il valore obiettivo per la concentrazione nell'aria ambiente di arsenico, cadmio, mercurio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici;
- **Direttiva 08/50/CE 107/CE** relativa alla “qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa”. Ha abrogato tutte le direttive sopra citate tranne la 2004/107/CE ribadendone, di fatto, i contenuti ed aggiungendo il PM_{2.5} tra gli inquinanti da monitorare.
- Direttiva Europea UE 2016/2284 pubblicata sulla GU.U.E. del 17/12/2016 ed entrata in vigore il 31.12.2016. La cosiddetta “NEC” stabilisce i nuovi obiettivi strategici per il periodo fino al 2030, con l'intento di progredire verso l'obiettivo di miglioramento di lungo termine dell'Unione attraverso

l'indicazione di percentuali di riduzione delle emissioni nazionali dal 2020 al 2029 e poi a partire dal 2030.

L'emanazione dei diversi decreti di recepimento delle direttive europee ha contribuito a razionalizzare il quadro di riferimento e a qualificare gli strumenti di controllo e pianificazione del territorio nazionale. I principali riferimenti sono:

- Il D. Lgs. 351 del 4 agosto 1999 recepisce la direttiva 96/62/CE e costituisce quindi il riferimento "quadro" per l'attuale legislazione italiana;
- Il D.M. 60 del 2 aprile 2002 è la norma che recepisce la prima e la seconda direttiva figlia; definisce, infatti, per gli inquinanti di cui al gruppo I del D.Lgs. 351/1999 con l'aggiunta di benzene e monossido di carbonio (CO); i valori limite e le soglie di allarme, il margine di tolleranza, il termine entro il quale il limite deve essere raggiunto, i criteri per la raccolta dei dati di qualità dell'aria compreso il numero di punti di campionamento, i metodi di riferimento per le modalità di prelievo e di analisi;
- Il D.M. 261 del 1° ottobre 2002 individua le modalità di valutazione preliminare della qualità dell'aria lì dove mancano i dati e i criteri per l'elaborazione di piani e programmi per il raggiungimento dei limiti previsti nei tempi indicati dal D.M. 60/2002;
- Il D. Lgs. 183 del 21 maggio 2004, recepisce la direttiva europea 02/03/CE riguardante l'ozono in atmosfera (terza direttiva figlia), in particolare indica "valori bersaglio" da raggiungere entro il 2010, demanda a Regioni e Province autonome la definizione di zone e agglomerati in cui la concentrazione di ozono superi il valore bersaglio; per tali zone dovranno essere adottati piani e programmi per il raggiungimento dei valori bersaglio. Piani e programmi dovranno essere redatti sulla base delle indicazioni del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. La normativa riporta anche valori a lungo termine (al di sotto dei quali non ci si attende alcun effetto sulla salute), soglie di informazione (valori al di sopra dei quali possono esserci rischi per gruppi sensibili) e soglie di allarme (concentrazioni che possono determinare effetti anche per esposizioni a breve termine);
- Il D. Lgs. 171 del 21 maggio 2004, recepisce la direttiva europea 2001/81/CE, riguardante i limiti massimi per le emissioni annue degli Stati membri, individua gli strumenti per assicurare che le emissioni nazionali annue per il biossido di zolfo, per gli ossidi di azoto, per i composti volatili e per l'ammoniaca, rispettino entro il 2010 e negli anni successivi i limiti nazionali di emissione;
- Il D.Lgs. 152/2007 (che recepisce la direttiva 2004/107/CE) è l'ultima norma figlia emanata e si riferisce ad un gruppo di inquinanti (l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)), per cui non è ancora possibile una misura in continuo e che si trovano prevalentemente all'interno del particolato sottile. Anche in questo caso vengono stabiliti i limiti di qualità dell'aria, le modalità di misura e le informazioni da fornire al pubblico.

L'insieme di tutte queste norme costituisce la base normativa su cui si fonda il controllo e la gestione attuale della qualità dell'aria.

Il DLgs 155/2010 costituisce l'attuazione della direttiva comunitaria 2008/50/CE circa la valutazione della qualità dell'aria ambiente, la sua gestione, nonché il suo miglioramento. Quest'unica norma sostituisce sia la legge quadro (DL 351/99) sia i decreti attuativi (che fornivano modalità di misura, indicazioni sul numero e sulla collocazione delle postazioni di monitoraggio, limiti e valori di riferimento per i diversi inquinanti) ribadendo i fondamenti del controllo dell'inquinamento atmosferico e i criteri di monitoraggio e introducendo, in base alle nuove evidenze epidemiologiche, tra gli inquinanti da monitorare anche il PM_{2.5}, ormai ben noto per la sua pericolosità.

Il Decreto stabilisce per le sostanze inquinanti i seguenti criteri:

- i valori limite, vale a dire le concentrazioni atmosferiche fissate in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana e sull'ambiente;
- le soglie di allarme, ossia la concentrazione atmosferica oltre la quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e per cui si deve immediatamente intervenire;
- il margine di tolleranza, cioè la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato e le modalità secondo le quali tale margine deve essere ridotto nel tempo;
- il termine entro il quale il valore limite deve essere raggiunto;
- la soglia di valutazione superiore vale a dire la concentrazione atmosferica al di sotto della quale le misurazioni possono essere combinate con le tecniche di modellazione;
- la soglia di valutazione inferiore, ossia una concentrazione atmosferica al di sotto della quale è consentito ricorrere soltanto alle tecniche di modellazione o di stima oggettiva;
- i periodi di media, cioè il periodo di tempo durante il quale i dati raccolti sono utilizzati per calcolare il valore riportato.

Nell'allegato XI al decreto, vengono riportati i valori limite, i livelli critici, le soglie di allarme e di informazione e i valori obiettivo degli inquinanti normati.

Tale decreto ha subito delle leggere modifiche in base al nuovo Decreto Legislativo 24 dicembre 2012, n. 250 "Modifiche ed integrazioni al Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155, recante attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" (G.U. n. 23 del 28.01.2013), entrato in vigore il 12 febbraio 2013.

Nella seguente tabella si riportano i limiti per le concentrazioni degli inquinanti presi a riferimento per stabilire la qualità dell'aria su territorio nazionale sopra accennati:

Tabella 1 Valori di riferimento della qualità dell'aria Dlgs 155/2010 e smi

Inquinante	Indicatore Normativo	Periodo di mediazione	Valore stabilito	Margine tolleranza	n° sup. consentiti
Biossido di Zolfo SO₂	Valore limite protezione salute umana	1 ora	350 µg/m ³	-	24
	Valore limite protezione salute umana	24 ore	125 µg/m ³	-	3
	Soglia di allarme	3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 kmq	500 µg/m ³	-	-
	Livelli critici per la vegetazione	anno civile e inverno	20 µg/m ³	-	-
Biossido di azoto NO₂	Valore limite protezione salute umana	1 ora	200 µg/m ³	-	18
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	40 µg/m ³	-	-

Inquinante	Indicatore Normativo	Periodo di mediazione	Valore stabilito	Margine tolleranza	n° sup. consentiti
	Soglia di allarme	3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 kmq	400 µg/m3	-	-
Ossidi di azoto NOx	Livelli critici per la vegetazione	anno civile	30 µg/m3	-	-
Particolato PM10	Valore limite protezione salute umana	24 ore	50 µg/m3	-	35
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	40 µg/m3	-	-
Particolato fine PM2.5	Valore limite protezione salute umana	anno civile	25 µg/m3	-	-
Piombo	Valore limite protezione salute umana	anno civile	0,5 µg/m3		
Benzene	Valore limite protezione salute umana	anno civile	5 µg/m3	-	-
Monossido di carbonio	Valore limite protezione salute umana	massima media su 8h consecutive	10 mg/m3	-	-
Arsenico	Valore obiettivo	anno civile	6 ng/m3	-	-
Cadmio	Valore obiettivo	anno civile	5 ng/m3	-	-
Nichel	Valore obiettivo	anno civile	20 ng/m3	-	-
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	anno civile	1 ng/m3	-	-

La valutazione e la gestione della qualità dell'aria ambiente in Italia sono attualmente regolamentate dal D.Lgs. 155/2010 e smi, recepimento della Direttiva Europea 2008/50/CE, che ha modificato in misura strutturale, e da diversi punti di vista, quello che è l'approccio a questa tematica. Il D.Lgs 155/2010 è stato modificato ed integrato dal D.Lgs n. 250/2012 che non altera la disciplina sostanziale del decreto 155 ma cerca di colmare delle carenze normative o correggere delle disposizioni che sono risultate particolarmente problematiche nel corso della loro applicazione.

2.1 Caratterizzazione dello stato attuale della qualità dell'aria

Il quadro normativo regionale in materia di gestione della qualità dell'aria è costituito dalle competenze attribuite dal D.lgs 351/99 che recepisce i disposti della Direttiva europea e che attribuisce alle Regioni una serie di attività tra cui, secondo i criteri e le metodologie disposte dal D.M. 261/02 e sulla base, in prima applicazione, della valutazione preliminare e successivamente della valutazione della qualità dell'aria ambiente, la definizione di una lista di zone e agglomerati nei quali:

- i livelli di uno o più inquinanti eccedono il valore limite aumentato del margine di tolleranza;
- i livelli di uno o più inquinanti sono compresi tra il valore limite ed il valore limite aumentato del margine di tolleranza.

Sulla base di tale zonizzazione/classificazione del proprio territorio, le Regioni adottano un piano o un programma per il raggiungimento dei valori limite entro i termini stabiliti.

In particolare, le norme prevedono che si debba adottare un piano o programma di risanamento per il raggiungimento di tale soglia nelle zone o agglomerati ove uno o più inquinanti eccedono il valore limite di riferimento, oppure, adottare un piano di mantenimento della qualità dell'aria al fine di conservare e migliorare i livelli degli inquinanti laddove essi risultino al di sotto dei valori limite.

L'articolo 1, comma 4, del d.lgs. 155/2010, definisce, infatti, la zonizzazione del territorio "il presupposto su cui si organizza l'attività di valutazione della qualità dell'aria ambiente", le cui modalità di svolgimento sono individuate sulla base della classificazione delle zone medesime. La valutazione della qualità dell'aria è, a sua volta, "il presupposto per l'individuazione delle aree di superamento dei valori, dei livelli, delle soglie e degli obiettivi previsti" dal decreto per i vari inquinanti; in caso di superamento devono essere adottati piani che agiscano sull'insieme delle principali sorgenti di emissione, ovunque localizzate, che influenzano tali aree di superamento. Il medesimo articolo 1, comma 4, indica sinteticamente i principi per la delimitazione delle zone e degli agglomerati, meglio specificati nell'Appendice I "Criteri per la zonizzazione del territorio".

In primo luogo, sulla base dell'assetto urbanistico, della popolazione residente e della densità abitativa, si individuano gli agglomerati e successivamente, in considerazione principalmente delle caratteristiche orografiche, di quelle meteo climatiche, del carico emissivo e del grado di urbanizzazione del territorio, si prosegue con la delimitazione delle altre zone. Le zone e gli agglomerati individuati sono infine classificati ai fini della tutela della salute umana, secondo quanto specificato dall'articolo 4 del d.lgs. 155/2010, confrontando le concentrazioni nell'aria ambiente degli inquinanti SO₂, NO₂, C₆H₆, CO, Pb, PM₁₀, PM_{2.5}, As, Cd, Ni, B(a)P con le rispettive soglie di valutazione superiori e inferiori riportate nell'Allegato II del citato decreto.

Nel corso del 2023 le 37 stazioni previste per la Toscana dalle nuove modifiche ed integrazioni della DGRT 1626/20201 hanno funzionato a pieno regime per tutti i parametri.

La Figura 2 e la Figura 3 descrivono la suddivisione del territorio regionale in zone ed agglomerati, rimasta la stessa dal 2010.

Figura 2. Zonizzazione e stazioni di RR per inquinanti all.V del D.Lgs 155/2010

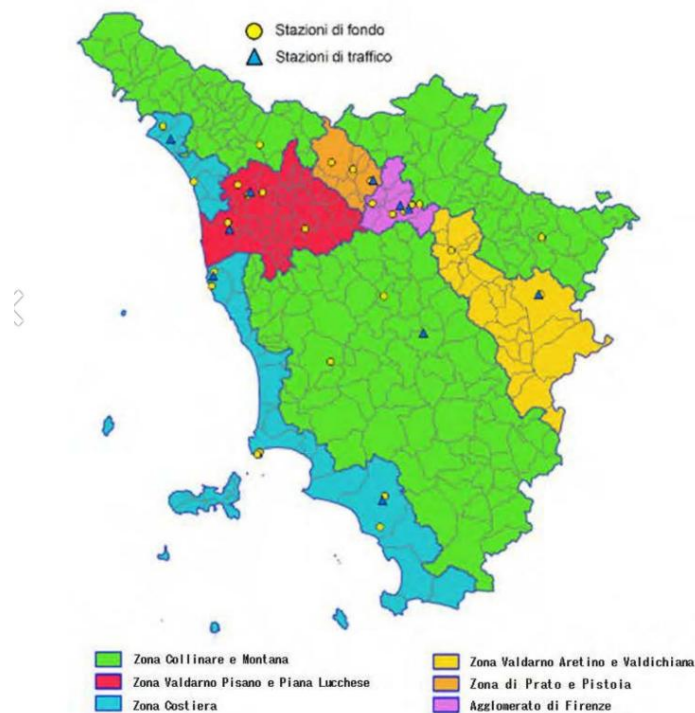
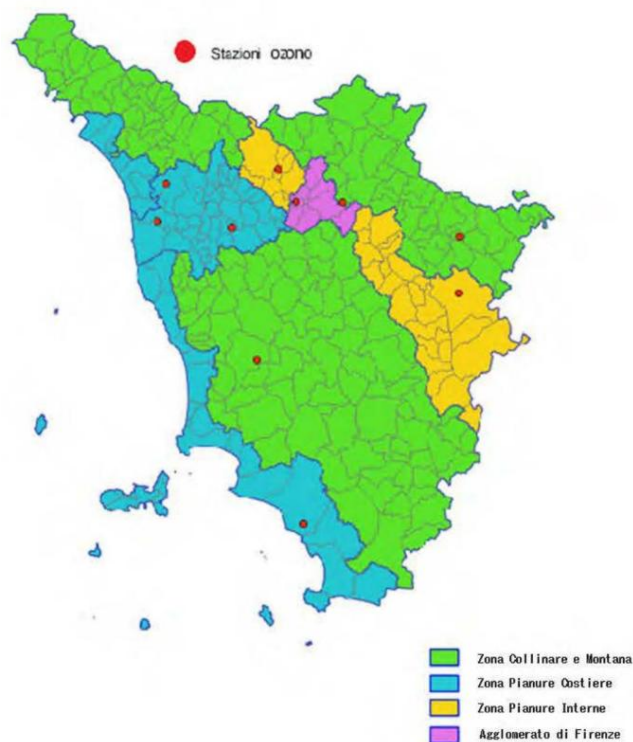


Figura 3. Zonizzazione e stazioni di RR per Ozono



Il processo di zonizzazione ha portato in primo luogo all'individuazione di agglomerati e alla successiva suddivisione del territorio in zone.

Il territorio regionale risulta così suddiviso:

- **Agglomerato Firenze:** L'agglomerato presenta caratteristiche omogenee dal punto di vista del sistema di paesaggio, con alta densità di popolazione e, di conseguenza di pressioni in termini emissivi derivanti prevalentemente dal sistema della mobilità pubblica e privata e dal condizionamento de-

gli edifici e non presenta contributi industriali di particolare rilevanza. Comprende, racchiusi in un'unica piana, i centri urbani di Firenze e dei comuni contigui (Area omogenea fiorentina) per i quali Firenze rappresenta un centro attrattore.

- **Zona Prato – Pistoia:** La zona risulta omogenea dal punto di vista del sistema di paesaggio, con elevata densità di popolazione e carico emissivo. Comprende, racchiusi in un'unica piana, i centri urbani di Prato e Pistoia che costituiscono i centri di principale richiamo per le altre aree urbane circostanti che da esse dipendono sul piano demografico e dei servizi.
- **Pianura costiera:** La zona costiera, identificata da un chiaro confine geografico, presenta comunque alcune disomogeneità a livello di pressioni, tanto che si possono distinguere tre aree:
 - un'area in cui si concentra l'industria pesante toscana e la maggior parte del traffico marittimo (Livorno, Piombino e Rosignano);
 - l'area della Versilia ad alto impatto turistico, con una densità di popolazione molto elevata e collegata con l'area industriale di Massa Carrara;
 - un'area costiera a bassa densità di popolazione
- **Valdarno pisano e Piana lucchese:** In questo bacino continuo si identificano due aree principali che hanno caratteristiche comuni a livello di pressioni esercitate sul territorio, individuate dalla densità di popolazione e dalla presenza di distretti industriali di una certa rilevanza. In particolare, l'area del Valdarno pisano è caratterizzata dalla presenza di un elevato numero di concerie, mentre nella piana lucchese si concentrano gli impianti di produzione cartaria.
- **Valdarno Aretino:** In questo bacino continuo che va dalle propaggini meridionali dell'area fiorentina sino alla Val di Chiana, le maggiori pressioni esercitate sul territorio sono determinate dalla densità di popolazione e dalla presenza di alcuni distretti industriali, oltre alla presenza del tratto toscano della A1
- **Zona collinare montana:** Questa zona copre una superficie superiore ai 2/3 del territorio regionale e presenta, oltre al dato orografico, elementi caratterizzanti, relativi alle modeste pressioni presenti sul territorio, che la distinguono ed identificano come zona. Risulta 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. In questa zona si distingue un capoluogo toscano (Siena) e le due aree geotermiche del Monte Amiata e delle Colline Metallifere che presentano caratteristiche di disomogeneità rispetto al resto dell'area. Nelle aree geotermiche risulta opportuno il monitoraggio di alcuni inquinanti specifici normati dal nuovo decreto come l'Arsenico ed Mercurio ed altri non regolamentati come l'H₂S.

L'area, oggetto del progetto in esame, fa parte della zona AGGLOMERATO DI FIRENZE sia per quanto riguarda la zonizzazione dell'allegato V del D.Lgs. 155/2010, sia per la zonizzazione dell'ozono dell'allegato IX del D.Lgs. 155/2010.

In base alla classificazione effettuata, e al numero di abitanti delle zone individuate, il D.lgs. n. 155/2010 fissa il numero minimo di stazioni da prevedere nella rete di misura per ogni inquinante.

In generale, le stazioni si distinguono in:

- stazioni di misurazione di TRAFFICO: stazioni ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da emissioni da traffico, provenienti da strade limitrofe con intensità di traffico medio alta
- stazioni di misurazione di FONDO: stazioni ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento non sia influenzato prevalentemente da emissioni da specifiche fonti (industrie, traffico, riscaldamento residenziale, ecc.) ma dal contributo integrato di tutte le fonti poste sopravento alla stazione rispetto alle direzioni predominanti dei venti nel sito

- stazioni di misurazione INDUSTRIALE: stazioni ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da singole fonti industriali o da zone industriali limitrofe.

Di seguito sono riportate le stazioni di monitoraggio della rete regionale con la loro ubicazione ed i relativi analizzatori presenti.

Tabella 2 Rete Regionale delle stazioni di misura degli inquinanti

Zonizzazione inquinanti All V	Provincia e Comune	Nome e Tipo stazione	PM10	PM2,5	NO ₂	SO ₂	H ₂ S	CO	Benzene ¹	B(a)P ¹	As	Ni	Cd	Pb ²	O ₃	Zonizzazione per l' O ₃
Agglomerato Firenze	FI Firenze	U F FI-Boboli	x													Agglomerato Firenze
	FI Firenze	U F FI-Bassi	x	x	x	x			x	x						
	FI Firenze	U T FI-Gramsci	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x		
	FI Firenze	U T FI-Mosse	x		x											
	FI Scandicci	U F FI-Scandicci	x		x											
	FI Signa	U F FI-Signa	x		x										x U	
Zona Prato Pistoia	FI Firenze	S F FI-Settignano			x										x S	Zona Pianure Interne
	PO Prato	U F PO-Roma	x	x	x				x	x	x	x	x	x		
	PO Prato	U T PO-Ferrucci	x	x	x			x								
	PT Pistoia	U F PT-Signorelli	x		x											
Zona Valdarno Aretino e Valdichiana	PT Montale	S F PT-Montale	x	x	x										x S	Zona Pianure Interne
	AR Arezzo	U F AR-Acropoli	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x S	
	FI Figline ed Incisa Valdarno	U F FI-Figline	x		x											
	AR Arezzo	U T AR-Repubblica	x		x			x								
Zona Costiera	GR Grosseto	U F GR-URSS	x	x	x											Zona Pianure Costiere
	GR Grosseto	U T GR-Sonnino	x		x											
	GR Grosseto	R F GR-Maremma			x									x	R	
	LI Livorno	U F LI-Cappiello	x	x	x											
	LI Livorno	U T LI-Carducci	x	x	x			x								
	LI Livorno	U F LI-Via La Pira	x		x	x			x	x	x	x	x	x		
	LI Piombino	S I LI-Cotone	x		x			x								
	LI Piombino	U F LI-Parco 8 Marzo	x		x											
	MS Carrara	U F MS-Colombarotto	x		x											
	MS Massa	U T MS-Marina vecchia	x	x	x											
Zona Valdarno	LU Viareggio	U F LU-Viareggio	x	x	x											Zona Pianure Costiere
	LU Capannori	U F LU-Capannori	x	x	x	x				x						
	LU Lucca	U F LU-San Concordio	x		x				x	x	x	x	x	x		
Pisano e Piana Lucchese	LU Lucca	U T LU-Micheletto	x		x											Zona Collinare e Montana
	LU Lucca	R F LU-Carignano			x										x S	
	PI Pisa	U F PI-Passi	x	x	x										x S	
	PI Pisa	U T PI-Borghetto	x	x	x			x								
	PI Santa Croce sull'Arno	S F PI-Santa Croce	x		x		x								x S	
	PI Pomarance	S F PI-Montecerboli	x		x		x				x	x	x	x	x S	
Zona Collinare e Montana	AR Chitignano	R reg F AR-Casa Stabbi	x		x										x R	Zona Collinare e Montana
	SI Poggibonsi	U F SI-Poggibonsi	x	x	x				x	x						
	SI Siena	U T SI-Bracci	x		x			x								
	LU Bagni di Lucca	U F LU-Fornoli	x		x											

Legenda classificazione
stazioni
(All. III D.Lgs 155/2010)

UF – Urbana fondo
UT – Urbana traffico
RF – Rurale fondo
PF – Periferica fondo
PI-Periferica Industriale

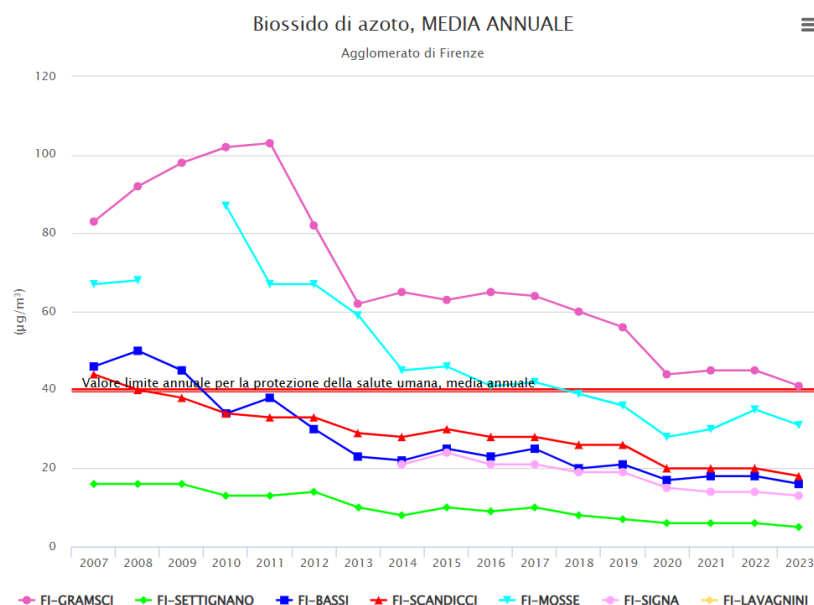
Di seguito si mostra l'andamento riferito all'anno 2023 di ogni inquinante monitorato dalle stazioni sopra citate e si confrontano i livelli attuali con i valori limite previsti dalla normativa vigente; la fonte dei dati è la *Relazione annuale sullo stato della qualità dell'aria nella regione Toscana anno 2023 di ARPAT*.

BIOSSIDO DI AZOTO (NO₂)

Il biossido di azoto è un inquinante secondario, generato dall'ossidazione del monossido di azoto (NO) in atmosfera. Il traffico veicolare rappresenta la principale fonte di emissione del biossido di azoto. Gli impianti di riscaldamento civili ed industriali, le centrali per la produzione di energia e numerosi processi industriali rappresentano altre fonti di emissione.

Tabella 3. Confronto con i limiti di riferimento

Stazione	2023	
	N° medie orarie >200 µg/m ³ (V.L. 18)	Media annuale (V.L. 40 µg/m ³)
FI-Bassi	0	16
FI-Gramsci	0	41
FI-Mosse	0	31
FI-Scandicci	0	18
FI-Signa	0	13
FI-Settignano	0	5

Figura 4. Andamenti delle medie annuali di NO₂ periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)**PM₁₀ (Polveri fini)**

Con il termine PM₁₀ si fa riferimento al materiale particolato con diametro uguale o inferiore a 10 µm. Il materiale particolato può avere origine sia antropica che naturale. Le principali sorgenti emissive antropiche in ambiente urbano sono rappresentate dagli impianti di riscaldamento civile e dal traffico veicolare. Le fonti naturali di PM₁₀ sono riconducibili essenzialmente ad eruzioni vulcaniche, erosione, incendi boschivi etc.

Tabella 4: Confronto con i limiti di riferimento

Stazione	2023	
	N° medie giornaliere >50µg/m ³ (V.L. 35 giorni)	Media annuale (V.L. 40 µg/m ³)
FI-Boboli	1	18
FI-Bassi	5	20
FI-Gramsci	26	30
FI-Mosse	21	27
FI-Scandicci	3	19
FI-Signa	17	21

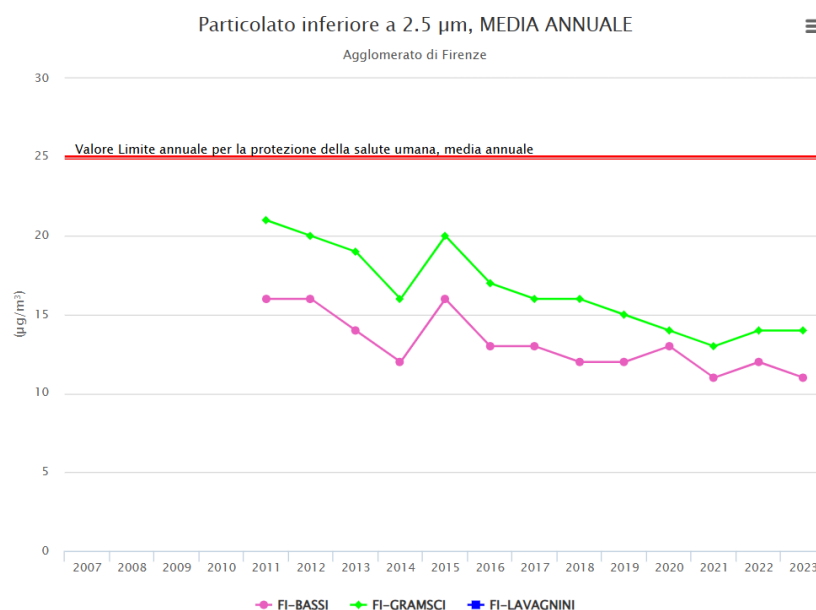
Figura 5. Andamenti delle medie annuali di PM10 e superi della media giornaliera periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)

**PM_{2.5}**

Con il termine PM_{2.5} si fa riferimento al materiale particellare con diametro uguale o inferiore a 2.5 µm. Nella seguente tabella si riportano i dati disponibili anno 2023.

Tabella 5: Confronto con i limiti di riferimento

Stazione	2023
	Media annuale (V.L. 25 µg/m ³)
FI-Bassi	11
FI-Gramsci	14

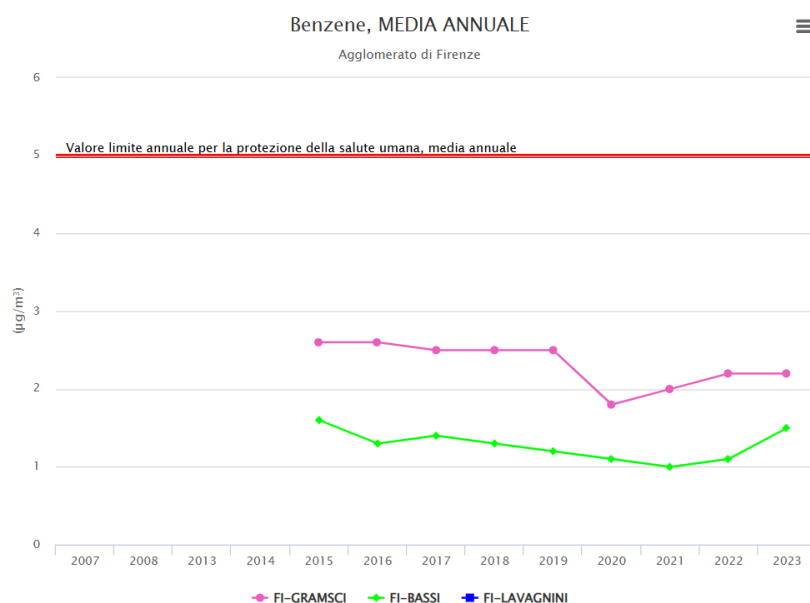
Figura 6. Andamenti delle medie annuali di PM2.5 periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)**BENZENE**

Il Benzene è un idrocarburo aromatico volatile. È generato dai processi di combustione naturali, quali incendi ed eruzioni vulcaniche e da attività produttive inoltre è rilasciato in aria dai gas di scarico degli autoveicoli e dalle perdite che si verificano durante il ciclo produttivo della benzina (preparazione, distribuzione e l'immagazzinamento). Considerato sostanza cancerogena riveste un'importanza particolare nell'ottica della protezione della salute umana.

Tabella 6 Confronto con i limiti di riferimento

Stazione	2023
	Media annuale (V.L. 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
FI-Bassi	1.5
FI-Gramsci	2.2

I valori medi annuali sono nettamente inferiori al valore limite pari a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 7. Andamenti delle medie annuali di Benzene periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)

MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

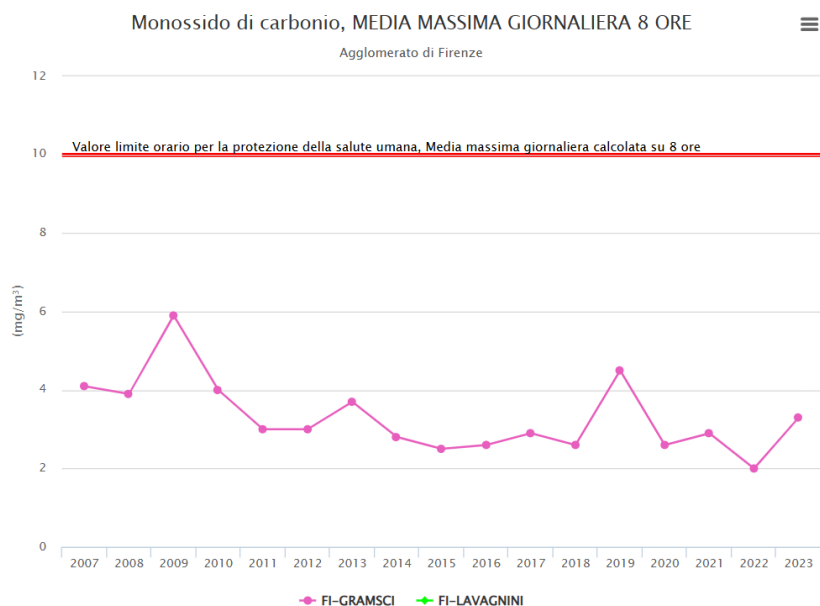
Per quanto riguarda il CO, questo inquinante è prodotto quasi esclusivamente dalle emissioni allo scarico dei veicoli a motore ed è caratterizzato da un forte gradiente spaziale; perciò, come si può vedere dai grafici riportati, nelle stazioni a distanza dai flussi veicolari (urbana fondo) le concentrazioni di CO risultano ampiamente inferiori rispetto a quelle misurabili a pochi metri dalle emissioni.

Il valore indicato dall'OMS per questo inquinante è pari al limite indicato dal D.Lgs. 155/2010 e smi, media massima su 8 ore inferiore a 10 mg/m³. In Toscana le concentrazioni di Monossido di Carbonio sono quindi ampiamente inferiori ai valori indicati dall'OMS.

Tabella 7 Confronto con i limiti di riferimento

Stazione	2023
	Media massima giornaliera su 8h (V.L. 10 mg/m ³)
FI-Gramsci	3,3

Figura 8. Andamenti delle medie annuali di CO periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)



3 Meteorologia e climatologia

In questo paragrafo, relativo alla caratterizzazione meteorologica dell'area allo studio, si elaborano i dati meteorologici selezionati per il dominio di calcolo.

3.1 Dati meteorologici

I dati meteorologici per la caratterizzazione dell'area di studio sono stati reperiti dal servizio SIR della Regione Toscana per la stazione "SAN GIUSTO" codice stazione TOS01001215.

Figura 9. Localizzazione stazione meteo (Fonte: SIR)

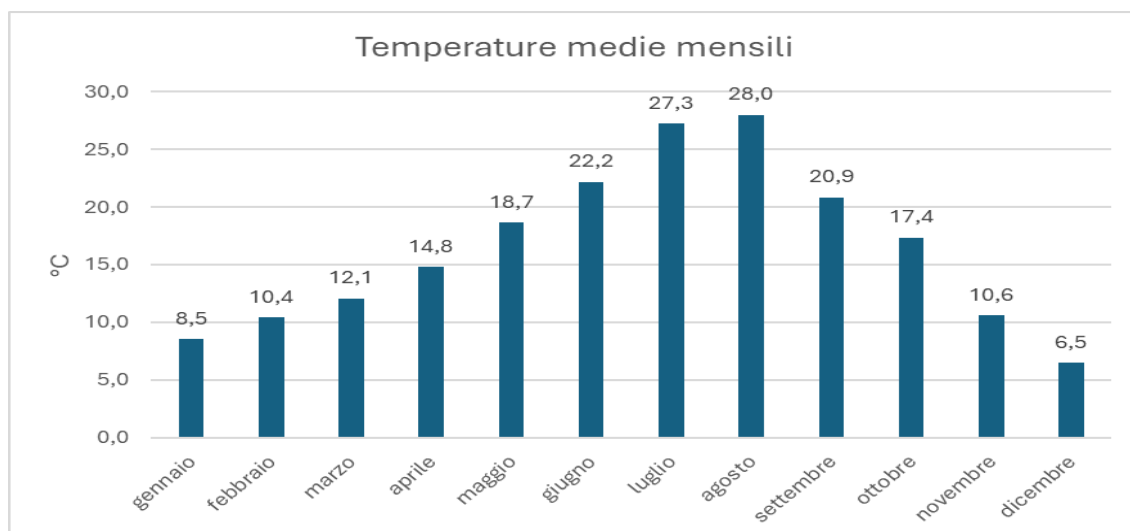


Di seguito si riporta l'analisi dei dati meteorologici per l'anno 2024.

Temperatura

Per la **temperatura** si riporta in Figura 10 i dati medi mensili riferiti all'intero anno 2024. Si può osservare l'andamento stagionale che presenta i valori minimi in inverno nei mesi dicembre e gennaio ed i massimi nei mesi di luglio e agosto. Il valore minimo assoluto risulta -3.8°C e il massimo assoluto $+39.7^{\circ}\text{C}$. La temperatura media su base annuale è di $+16.48^{\circ}\text{C}$.

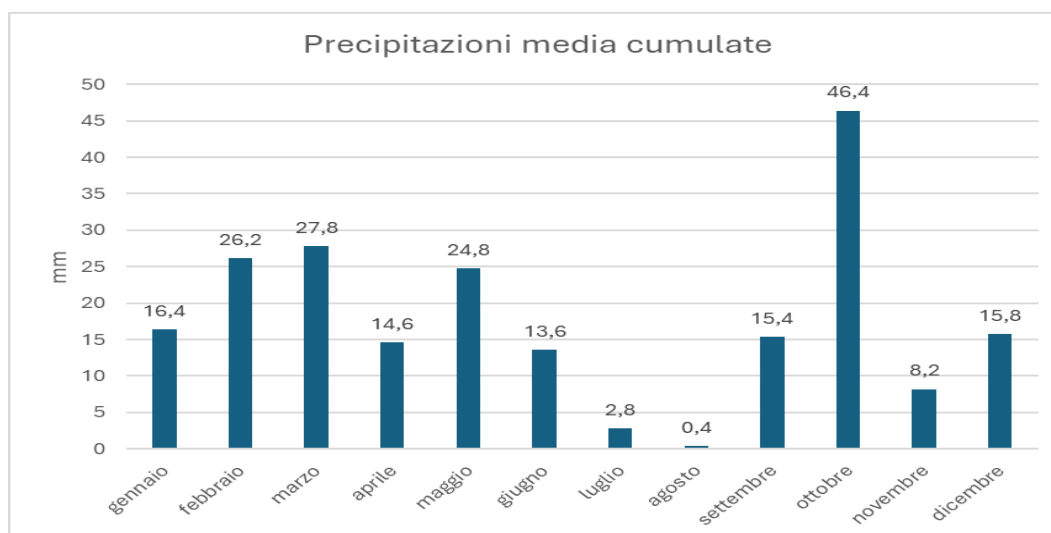
Figura 10. Temperatura stazione di riferimento San Giusto anno 2024



Precipitazioni

A partire dai dati forniti dalla centralina di San Giusto, è stato calcolato l'andamento delle precipitazioni cumulate mensili per il 2024.

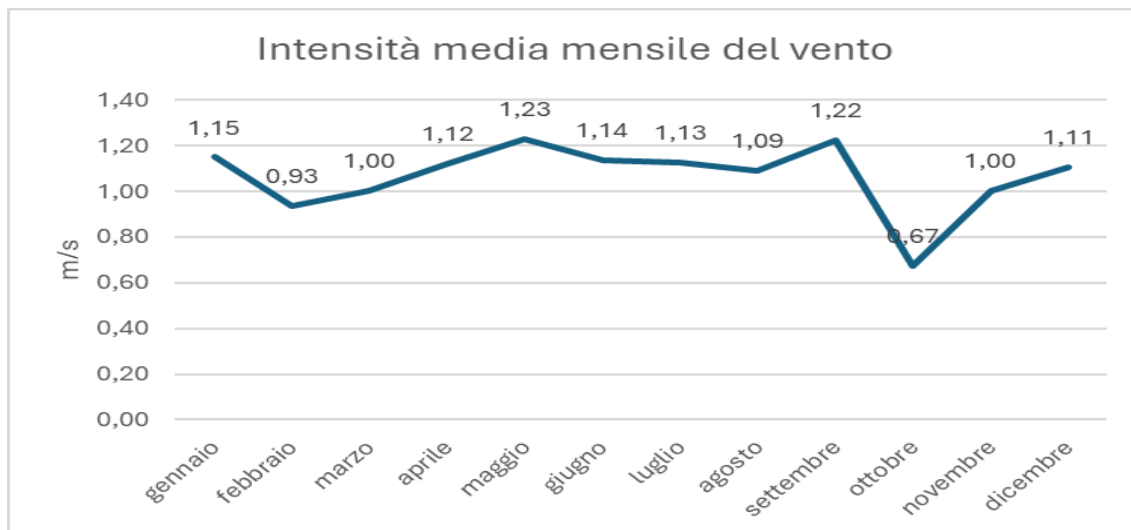
Figura 11. Precipitazioni stazione di riferimento San Giusto anno 2024



Caratterizzazione anemologica

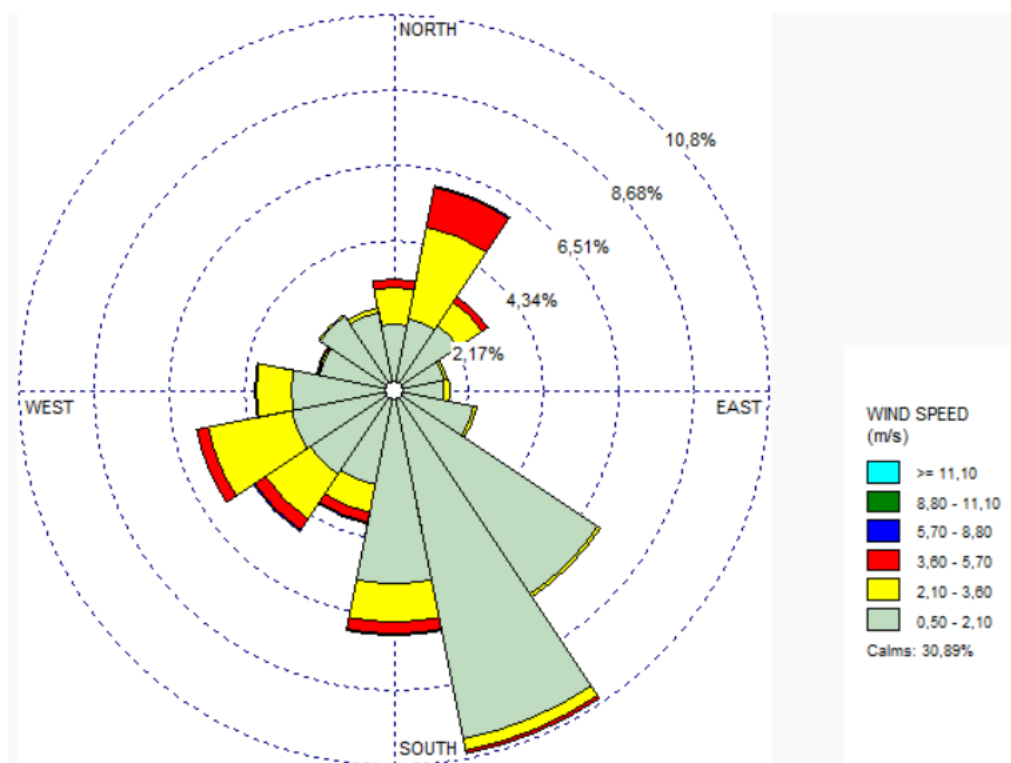
Per quanto riguarda la **velocità di vento**, la Figura 12 mostra i dati di intensità riferiti all'anno 2024. Il valore medio annuale è di 1,1 m/s.

Figura 12. Velocità del vento stazione di riferimento San Giusto anno 2024



Dall'analisi combinata dei dati di modulo e direzione del vento si sono ottenute le frequenze rappresentate sulla **rosa dei venti**.

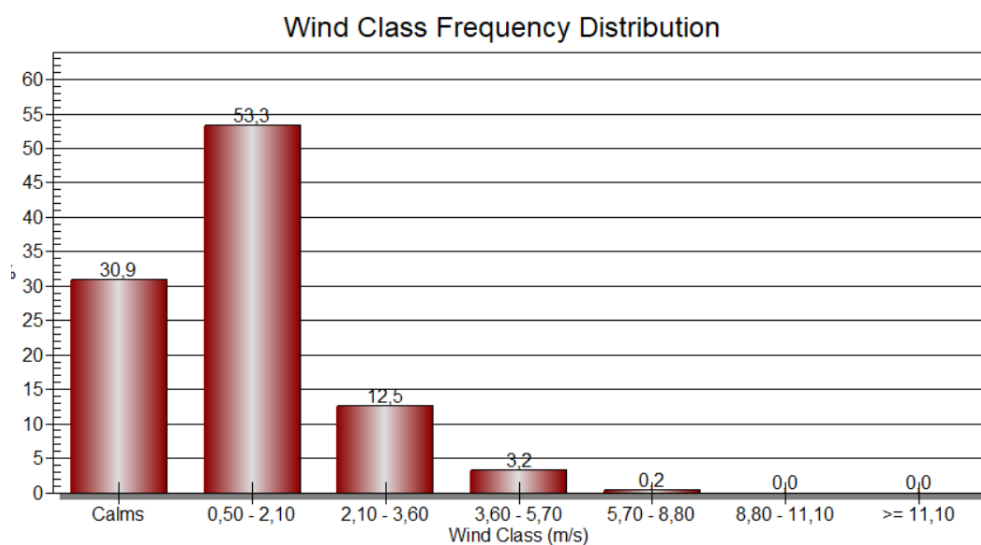
Figura 13. Rosa dei venti



Directions / Wind Classes (m/s)	0.50 - 2.10	2.10 - 3.60	3.60 - 5.70	5.70 - 8.80	8.80 - 11.10	>= 11.10	Total
N	1,9126	1,0701	0,2277	0	0	0	3,2104
NNE	2,1289	2,6753	1,1612	0,0342	0	0	5,9995
NE	2,2541	0,8083	0,1821	0	0	0	3,2445
ENE	1,4913	0,0797	0,0114	0	0	0	1,5824
E	1,4572	0,1708	0	0	0	0	1,628
ESE	2,3679	0,0683	0,0228	0	0	0	2,459
SE	7,0583	0,0797	0	0	0	0	7,138

Directions / Wind Classes (m/s)	0.50 - 2.10	2.10 - 3.60	3.60 - 5.70	5.70 - 8.80	8.80 - 11.10	>= 11.10	Total
SSE	10,2117	0,3529	0,0911	0	0	0	10,655
S	5,5783	1,0815	0,3643	0,0455	0	0	7,0697
SSW	2,7664	0,8538	0,2618	0,0455	0	0	3,9276
SW	2,9372	1,5369	0,3757	0,0455	0	0	4,8953
WSW	3,0055	2,4476	0,3757	0	0	0	5,8288
W	2,9941	0,9791	0,0797	0	0	0	4,0528
WNW	2,1972	0,0797	0,0114	0	0	0	2,2883
NW	2,6184	0,0455	0	0	0	0	2,6639
NNW	2,311	0,1594	0	0	0	0	2,4704
N	1,9126	1,0701	0,2277	0	0	0	3,2104
NNE	2,1289	2,6753	1,1612	0,0342	0	0	5,9995
NE	2,2541	0,8083	0,1821	0	0	0	3,2445
ENE	1,4913	0,0797	0,0114	0	0	0	1,5824
Sub-Total	53,2901	12,4886	3,1648	0,1708	0	0	69,114 3
Calms							30,885
Missing/Incomplete							0
Total							100

Figura 14. Frequenza di distribuzione delle classi di stabilità e di velocità del vento sull'anno



Il sito in esame è caratterizzato prevalentemente da calma di vento per circa il 31 % delle ore dell'anno solare 2024.

La direzione prevalente è SUD-SU EST con frequenza totale di circa 10%, seguito dalla direzione SUD con frequenza di accadimento pari al 7%. Le altre direzioni di provenienza del vento che concorrono agli accadimenti sono inferiori al 7%.

4 Approccio metodologico

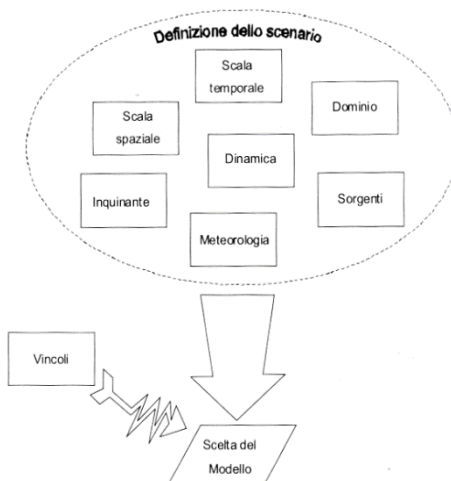
4.1 Scelta e tipologie di modelli diffusionali

Quando gas o particelle vengono immessi in atmosfera si disperdono per opera del moto caotico dell'aria; tale fenomeno è noto come diffusione turbolenta. *Scopo dello studio del comportamento degli inquinanti in atmosfera è la conoscenza della loro distribuzione spaziale e temporale.* Nella maggior parte dei casi si ricorre alla descrizione matematica dei processi di trasporto, reazione chimica e rimozione attraverso l'ausilio di modelli matematici di simulazioni (detti modelli di diffusione) atti a descrivere la distribuzione di una determinata sostanza in atmosfera.

La scelta dello *strumento modellistico* adeguato alle esigenze dello specifico caso di studio necessita di un'attenta fase di valutazione di applicabilità, da espletarsi attraverso la verifica:

- del problema: scala spaziale, temporale, dominio, tipo di inquinante, tipo di sorgenti, finalità delle simulazioni;
- dell'effettiva disponibilità dei dati di input;
- delle risorse di calcolo disponibili;
- del grado di complessità dei vari strumenti disponibili e delle specifiche competenze necessarie per la sua applicazione;
- delle risorse economico-temporali disponibili.

Naturalmente, la complessità della realtà fisica, fa sì che nessun modello possa rappresentare la situazione reale nella sua completezza: ciascun modello rappresenta necessariamente una semplificazione e un'approssimazione della realtà.



Criteri che concorrono alla scelta del modello

In generale, i modelli matematici diffusionali si possono dividere in due categorie:

- modelli deterministici;
- modelli statistici.

I *modelli deterministici* si basano su equazioni che si propongono di descrivere in maniera quantitativa i fenomeni che determinano il comportamento dell'inquinante in atmosfera. Si dividono a loro volta in due classi:

- *modelli euleriani*: riferiti ad un sistema di coordinate fisse;

- *modelli lagrangiani*: riferiti ad un sistema di coordinate mobile, che segue gli spostamenti degli elementi di cui si desidera riprodurre il comportamento in atmosfera.

I *modelli euleriani* si suddividono, a loro volta, in:

- *modelli analitici*,
- *modelli a box*,
- *modelli a griglia*.

I *modelli analitici* si basano sull'integrazione, in condizioni semplificate, dell'equazione generale di trasporto e diffusione. Le condizioni meteorologiche possono considerarsi stazionarie (plume models) oppure dipendenti dal tempo (puff models).

I *modelli a box* suddividono il dominio in celle, all'interno delle quali si assume che l'inquinante sia perfettamente miscelato. E' inoltre possibile tenere conto di eventuali termini di trasformazione chimica e di rimozione dovuta a fenomeni di deposizione.

I *modelli a griglia* si basano sulla soluzione dell'equazione di diffusione atmosferica tramite tecniche alle differenze finite. Prendono il nome dalla suddivisione del dominio in un grigliato tridimensionale e sono in grado di tener conto di tutte le misure meteorologiche disponibili e delle loro variazioni spaziali e temporali, nonché di trasformazioni quali le reazioni chimiche, la deposizione secca o umida.

I *modelli lagrangiani* si suddividono in:

- *modelli a box*,
- *modelli a particelle*.

I *modelli lagrangiani a box*, diversamente dai corrispondenti modelli euleriani, ottengono una risoluzione spaziale lungo l'orizzontale, non possibile nei primi a causa dell'ipotesi di perfetto miscelamento. La dimensione verticale del box è posta uguale all'altezza di miscelamento. L'ipotesi semplificatrice più significativa consiste nell'assumere la dispersione orizzontale nulla (assenza di scambio con l'aria circostante).

Nei *modelli a particelle* la dispersione dell'inquinante viene schematizzata attraverso pseudo-particelle di massa nota, che evolvono in un dominio tridimensionale. Il moto delle particelle viene descritto mediante la componente di trasporto, espressa attraverso il valore medio del vento, e quella turbolenta, espressa attraverso le fluttuazioni dello stesso intorno al valore medio. Questo approccio permette di tener conto delle misure meteorologiche disponibili, anche relative a situazioni spaziali e temporali complesse, evitando parametrizzazioni sulla turbolenza (classi di stabilità e coefficienti di diffusione semi-empirici).

I **modelli statistici** si basano su relazioni statistiche fra insiemi di dati misurati e possono suddividersi, a seconda delle tecniche statistiche implementate, in:

- modelli di distribuzione,
- modelli stocastici,
- modelli di recettore.

Tutti i modelli statistici non prevedono l'utilizzo delle equazioni che descrivono la realtà fisica, ma utilizzano i soli dati misurati nel passato dalla rete di monitoraggio e forniscono le previsioni dei valori di concentrazione nei soli punti della rete stessa. Nelle loro forme più semplici, questi modelli si basano su espressioni lineari formate dal termine che esplicita la relazione tra dati passati e dato previsto e dal termine stocastico vero e proprio; le ulteriori affinzioni possono derivare con l'apporto esplicito o implicito di altre variabili, meteorologiche o emissive.

In questo studio è stato utilizzato AERMOD come modello di dispersione per la descrizione del traffico veicolare in fase attuale e di progetto.

4.2 Modello di dispersione

4.2.1 Aermod

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

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

- Aermod;
- ISCST3;
- ISC-PRIME.

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

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

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

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

- 1) puntuali;
- 2) lineari;
- 3) areali;
- 4) volumiche.

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

In ultimo il modello si avvale di due ulteriori modelli per la valutazione degli input meteorologici e territoriali: AERMET e AERMAP. AERMET, consente di elaborare i dati meteorologici rappresentativi dell'area d'intervento, al fine di calcolare i parametri di diffusione dello strato limite atmosferico. Il secondo modello, AERMAP, invece, consente di elaborare le caratteristiche orografiche del territorio in esame.

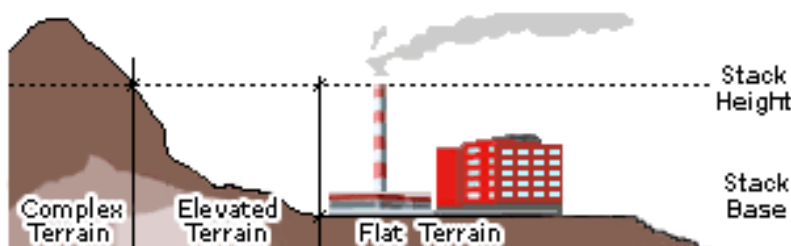
Per leggere il file, il software associa ad ogni posizione di un carattere all'interno della stringa di testo un preciso significato; di seguito viene indicato il significato di ogni cifra a seconda della casella che occupa:

1. 001: indica l'anno che si sta considerando; l'esempio riguarda l'anno 2018 che viene indicato con le ultime due cifre "18";
2. 002-003: viene specificato il mese, nell'esempio siamo a gennaio: "1";
3. 005-006: anche il giorno viene indicato con due cifre, nell'esempio siamo al primo giorno di gennaio: "01";
4. 008-009: si specifica l'ora;
5. 024-027: rappresentano la radiazione globale orizzontale espressa in Wh/m²
6. 051-052: specificano la copertura nuvolosa opaca con valori che vanno da 0 a 10
7. 054-055: indicano la temperatura, espressa in gradi Celsius
8. 066-068: denotano l'umidità relativa in %
9. 070-073: indicano la pressione della stazione
10. 075-077: rappresentano la direzione del vento espressa in gradi, in cui N=0 o 360, E=90, S=180, W=270
11. 078-082: specificano la velocità del vento, espressa in m/s
12. 089-088: viene indicata l'altezza a cui si trovano le nuvole, espressa in metri;
13. 124-130: denotano i mm di precipitazione caduti in un'ora.

4.2.3 Aermap

Il software Aermod View, grazie al processore territoriale AERMAP, permette di configurare essenzialmente tre tipologie di territorio così come mostrato nella figura seguente.

Figura 17. Tipologie di configurazioni territoriali



Con riferimento all'area in esame, si è adottata una conformazione del territorio di tipo "elevated terrain".

5 Valutazione dell'impatto sulla componente atmosfera e stima delle concentrazioni inquinanti al suolo

In questo paragrafo si riporta lo studio modellistico atmosferico per la fase di esercizio dell'area oggetto di studio.

Come anticipato nel paragrafo sulla modellistica per la valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria del traffico in fase di esercizio dell'opera si è utilizzato il modello **AERMOD**.

Scopo della presente sezione è quello di poter *valutare le modificazioni positive e/o negative introdotte dallo STATO DI PROGETTO rispetto allo STATO ATTUALE, in termini di impatto atmosferico sulla qualità dell'aria, per le aree adiacenti a quelle interessate dall'intervento.*

I risultati di seguito descritti, si riferiscono alle valutazioni delle ricadute calcolate sul *periodo dell'anno solare per le simulazioni svolte*. In particolare, nel presente studio, in riferimento alla loro potenziale significatività, sono stati analizzati:

- **NO_x**
- **PM₁₀**
- **PM_{2.5}**
- **BENZENE**
- **CO.**

Per la valutazione delle modificazioni sulla qualità dell'aria viene scelto un *approccio quantitativo* mediante *applicazione modellistica diffusionale atmosferica*, in grado di riprodurre, nelle condizioni meteorologiche tipiche dell'area, lo stato di dispersione degli inquinanti emessi dai veicoli circolanti sui tratti di strade interessati dalla modificazione progettuale.

In particolare, *due sono gli scenari presi a riferimento*:

- **SCENARIO STATO ATTUALE:** dati di traffico riferiti allo Stato attuale e desunti dallo Studio trasportistico redatto a supporto della proposta di PA;
- **SCENARIO STATO DI PROGETTO:** dati di traffico riferiti allo Scenario di esercizio dell'area di progetto e desunti dallo Studio trasportistico redatto a supporto della proposta di PA.

5.1 Parametri di calcolo

Al fine della implementazione della catena modellistica per la valutazione del potenziale impatto in atmosfera derivante dalle attività di cantiere è stato necessario implementare all'interno del software di simulazione AERMOD View i principali dati di input di seguito riportati:

- Parametri meteo climatici;
- Parametri orografici;
- Parametri progettuali (modellazione delle sorgenti);

Parametri meteo climatici

I dati meteorologici utilizzati in fase di simulazione sono i dati meteo orari sito specifici relativi all'anno 2024 della centralina di San Giusto, come trattato nel Paragrafo "Dati meteorologici".

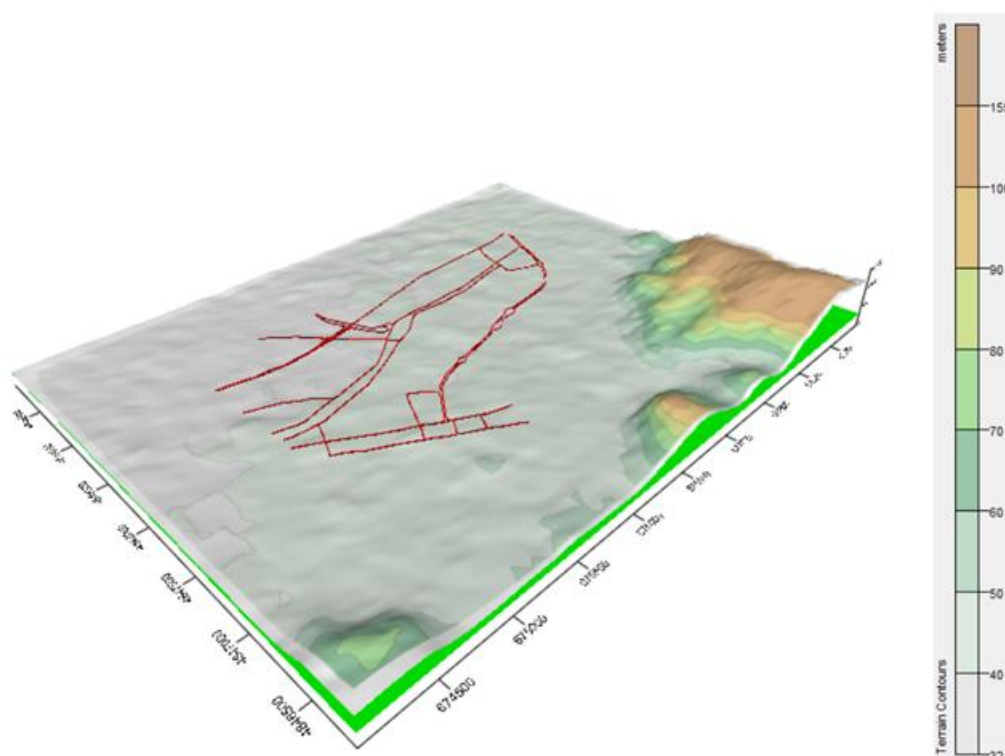
I file meteorologici necessari sono due, uno descrittivo delle condizioni meteoroclimatiche registrate al suolo nel sito di studio, l'altro descrittivo dell'andamento verticale dei principali parametri meteorologici.

Nel caso specifico sono stati utilizzati i dati meteo monitorati dalla stazione di rilevamento meteorologica descritta precedentemente, per la costruzione del primo file suddetto, mentre i dati profilometrici sono stati calcolati attraverso l'applicazione del "Upper Air Estimator" 3 sviluppato dalla Lakes Environmental. Tale strumento consente di fornire, attraverso leggi di regressione, il profilo meteorologico in quota. Tale sistema è riconosciuto dalla FAA4 ed alcune analisi sperimentali hanno dimostrato una buona approssimazione tra le concentrazioni stimate a partire dai dati in quota rispetto a quelle stimate attraverso l'uso dell'Upper Air Estimator

Parametri orografici

Il secondo input da definire è legato all'orografia del territorio in cui l'opera si innesta. Il software AERMOD View, grazie al processore territoriale AERMAP, permette di configurare essenzialmente tre tipologie di territorio. Con riferimento all'area in esame, si è adottata una conformazione del territorio di tipo "elevated terrain". Di seguito si riporta perciò l'andamento orografico restituito dal processore AERMAP.

Figura 18. Andamento orografico



Parametri progettuali: la modellazione delle sorgenti

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

Dal punto di vista modellistico la viabilità può essere schematizzata come una sorgente lineare areale i cui dati richiesti per la modellizzazione sono quelli mostrati di seguito.

3 Worldwide Data Quality Effects on PBL Short-Range Regulatory Air Dispersion Models – Jesse L. Thé, Russell Lee, Roger W. Brode
 4 http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/

Figura 19. Input sorgenti lineari

Nello specifico ciò che occorre definire è

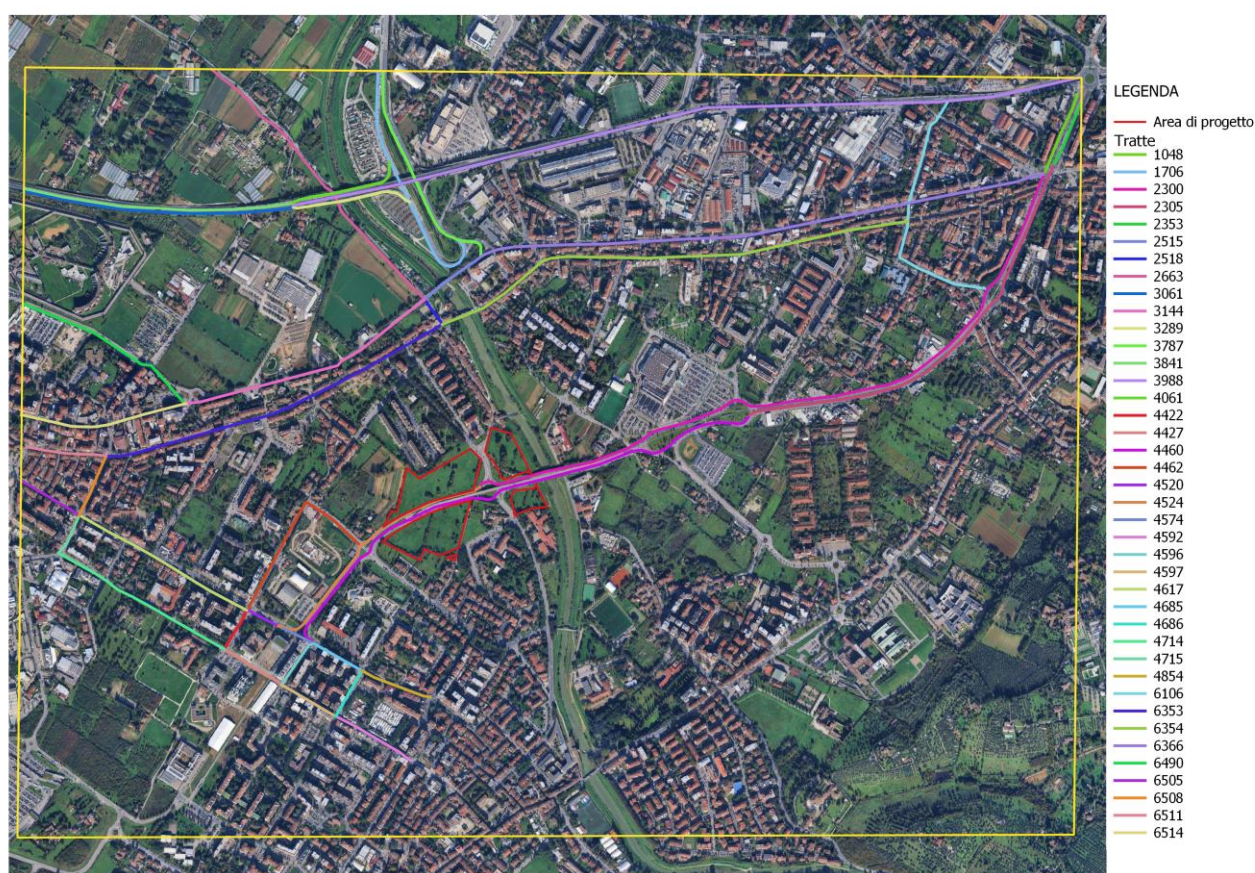
- Larghezza del lato della sorgente lineare, espresso in metri;
- Dimensione verticale iniziale: meglio nota come Sigma Z, utilizzata al fine di identificare la quota iniziale verticale del “pennacchio” della sorgente verticale, espresso in metri;
- Fattore di emissione espresso in g/s al metro quadrato;
- Lunghezza totale.

5.2 Stima delle emissioni

Le emissioni totali sono state calcolate prendendo a riferimento tutti i tronchi/archi viari compresi nel dominio di calcolo individuato e considerati nello studio citato, come mostrato in figura.

In questo modo, è stato possibile stimare le emissioni totali da traffico nel dominio in esame che sono state successivamente utilizzate nella configurazione del codice AERMOD per la valutazione dell’impatto di queste sulla qualità dell’aria.

Figura 20. Archi viari considerati



I dati per tutte le sezioni individuate ed i relativi tronchi viari sono rappresentati in base ai parametri *di volume di traffico nell'Ora di Punta (ODP)*. Per ognuno degli archi viari sono disponibili le classi di veicoli "AUTOVEICOLI" e "AUTOCARRI PESANTI". Tutte le valutazioni saranno quindi svolte in base a questa classificazione.

Per la valutazione delle emissioni, sono stati utilizzati i fattori di emissione medi disponibili nella banca dati di ISPRA SINANET- (<https://fettransp.isprambiente.it/#/>) elaborati mediante COPERT 5.7.3, software il cui sviluppo è coordinato dall' Agenzia Europea dell'Ambiente, nell'ambito delle attività dello European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation.

Tabella 8 Fattori di emissione per tipologia di veicolo e parametro estratti da FE2021.xlsx di SINANET ISPRA.

	CO g/veic*km	NOx g/veic*km	Benzene mg/veic*km	PM10 g/veic*km	PM2.5 g/veic*km
Autoveicoli	0.39810	0.304687	0.001521	0.030992	0.0195390
Autocarri pesanti	0.74515	2.283531	0.000054	0.131898	0.0900180

A questo punto si è proceduto al calcolo del fattore di emissione per ciascun inquinante: esso è il risultato della media pesata tra i fattori di emissione della singola tipologia di veicoli (autoveicolo e autocarro pesante) e il traffico all'ora di punta. Sulla base dei traffici forniti dallo studio trasportistico, conoscendo le percentuali di veicoli leggeri e pesanti circolanti sul tratto stradale, è stato possibile pesare i fattori di emissione sopra riportati, calcolando, un fattore di emissione medio. I fattori di emissione sono stati ricondotti in g/s per poter essere inseriti nel software Aermod, attraverso il prodotto con la lunghezza del tratto viario di appartenenza.

Tabella 9 Transiti orari per classe veicolare– scenario attuale

<i>Tratta</i>	<i>Traffico ORA DI PUNTA – ANTE OPERAM</i>		
	<i>T.O.M. autovetture [veh/h]</i>	<i>T.O.M. veicoli comm. pesanti [veh/h]</i>	<i>T.O.M totali [veh/h]</i>
3988	2365.8	123.7	2490
4061	467.5	24.4	492
3289	887.9	46.4	934
3841	2264.5	118.4	2383
3061	1456.7	76.2	1533
6366	1289.2	67.4	1357
2515	1922.8	100.6	2023
3144	1362.1	71.2	1433
6514	631.5	33.0	665
6354	454.8	23.8	479
6353	797.8	41.7	840
2518	491.1	25.7	517
6511	531.1	27.8	559
1048	1256.9	65.7	1323
2300	994.4	52.0	1046
2305	850.0	44.5	894
2353	1584.0	82.8	1667
4460	900.0	47.1	947
4524	652.6	34.1	687
6106	730.0	38.2	768
4462	20.1	1.0	21
6508	310.1	16.2	326
6505	864.5	45.2	910
4617	633.5	33.1	667
4715	432.8	22.6	455
4714	418.6	21.9	441
4422	320.8	16.8	338
4520	934.3	48.9	983
4574	912.0	47.7	960
4685	1148.2	60.1	1208
4854	675.3	35.3	711
4427	140.0	7.3	147
4596	185.1	9.7	195
4597	276.7	14.5	291
4686	602.7	31.5	634
4592	83.3	4.4	88
6490	835.7	43.7	879
2663	989.5	51.8	1041
1706	1499.6	78.4	1578
3787	1545.3	80.8	1626

Tabella 10 Fattori di emissione pesati – scenario attuale

<i>Tratta</i>	<i>NOx g/(km*veic)</i>	<i>PM10 g/(km*veic)</i>	<i>PM2.5 g/(km*veic)</i>	<i>CO g/(km*veic)</i>	<i>BENZENE g/(km*veic)</i>
3988	0.4030368444	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4061	0.4030368443	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
3289	0.4030368453	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
3841	0.4030368442	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
3061	0.4030368443	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
6366	0.4030368438	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
2515	0.4030368441	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
3144	0.4030368447	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
6514	0.4030368446	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
6354	0.4030368460	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
6353	0.4030368435	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
2518	0.4030368456	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
6511	0.4030368452	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
1048	0.4030368441	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
2300	0.4030368440	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
2305	0.4030368446	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
2353	0.4030368440	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4460	0.4030368436	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4524	0.4030368440	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
6106	0.4030368433	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4462	0.4030368427	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
6508	0.4030368419	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
6505	0.4030368444	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4617	0.4030368433	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4715	0.4030368458	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4714	0.4030368426	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4422	0.4030368427	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4520	0.4030368450	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4574	0.4030368439	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4685	0.4030368444	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4854	0.4030368434	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4427	0.4030368474	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4596	0.4030368448	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4597	0.4030368421	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4686	0.4030368442	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
4592	0.4030368399	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
6490	0.4030368441	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
2663	0.4030368444	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
1706	0.4030368438	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809
3787	0.4030368441	0.036007	0.0230419	0.41534941	0.00144809

Tabella 11 Emissioni attuali per km di strada - scenario attuale

<i>Tratta</i>	<i>NOx g/(km*sec)</i>	<i>PM10 g/(km*sec)</i>	<i>PM2.5 g/(km*sec)</i>	<i>CO g/(km*sec)</i>	<i>BENZENE g/(km*sec)</i>
3988	0.279	0.02490	0.015935	0.28723	0.00100
4061	0.055	0.00492	0.003149	0.05676	0.00020
3289	0.105	0.00935	0.005980	0.10780	0.00038
3841	0.267	0.02383	0.015252	0.27493	0.00096
3061	0.172	0.01533	0.009811	0.17686	0.00062
6366	0.152	0.01357	0.008683	0.15652	0.00055
2515	0.227	0.02024	0.012950	0.23344	0.00081
3144	0.160	0.01434	0.009174	0.16537	0.00058
6514	0.074	0.00665	0.004253	0.07667	0.00027
6354	0.054	0.00479	0.003063	0.05521	0.00019
6353	0.094	0.00840	0.005373	0.09686	0.00034
2518	0.058	0.00517	0.003307	0.05962	0.00021
6511	0.063	0.00559	0.003577	0.06448	0.00022
1048	0.148	0.01323	0.008466	0.15260	0.00053
2300	0.117	0.01047	0.006698	0.12073	0.00042
2305	0.100	0.00895	0.005725	0.10320	0.00036
2353	0.187	0.01667	0.010669	0.19231	0.00067
4460	0.106	0.00947	0.006062	0.10927	0.00038
4524	0.077	0.00687	0.004395	0.07923	0.00028
6106	0.086	0.00768	0.004917	0.08863	0.00031
4462	0.002	0.00021	0.000135	0.00243	0.00001
6508	0.037	0.00326	0.002088	0.03764	0.00013
6505	0.102	0.00910	0.005823	0.10496	0.00037
4617	0.075	0.00667	0.004267	0.07692	0.00027
4715	0.051	0.00456	0.002915	0.05254	0.00018
4714	0.049	0.00441	0.002820	0.05082	0.00018
4422	0.038	0.00338	0.002161	0.03895	0.00014
4520	0.110	0.00983	0.006293	0.11344	0.00040
4574	0.107	0.00960	0.006143	0.11073	0.00039
4685	0.135	0.01208	0.007733	0.13940	0.00049
4854	0.080	0.00711	0.004548	0.08199	0.00029
4427	0.016	0.00147	0.000943	0.01699	0.00006
4596	0.022	0.00195	0.001247	0.02247	0.00008
4597	0.033	0.00291	0.001863	0.03359	0.00012
4686	0.071	0.00634	0.004059	0.07317	0.00026
4592	0.010	0.00088	0.000561	0.01012	0.00004
6490	0.098	0.00880	0.005629	0.10146	0.00035
2663	0.117	0.01041	0.006665	0.12013	0.00042
1706	0.177	0.01578	0.010100	0.18207	0.00063
3787	0.182	0.01626	0.010408	0.18762	0.00065

Tabella 12 Transiti orari per classe veicolare– scenario di progetto

<i>Tratta</i>	<i>Traffico ORA DI PUNTA – POST OPERAM</i>		
	<i>T.O.M. autovetture [veh/h]</i>	<i>T.O.M. veicoli comm. pesanti [veh/h]</i>	<i>T.O.M totali [veh/h]</i>
3988	2369.334929	123.916217	2493
4061	440.61628	23.044231	464
3289	888.249209	46.455434	935
3841	2213.36	115.758728	2329
3061	1484.837632	77.657008	1562
6366	1350.502208	70.631265	1421
2515	1906.813329	99.726337	2007
3144	1311.208198	68.576189	1380
6514	605.42514	31.663735	637
6354	476.518475	24.921916	501
6353	854.198343	44.674573	899
2518	547.250299	28.621191	576
6511	539.510209	28.216384	568
1048	1302.270981	68.108772	1370
2300	1111.766276	58.145376	1170
2305	1083.051003	56.643567	1140
2353	1554.966218	81.324733	1636
4460	963.236546	50.377271	1014
4524	579.662845	30.316367	610
6106	739.005795	38.650003	778
4462	13.108153	0.685556	14
6508	355.477101	18.591452	374
6505	906.528525	47.411442	954
4617	639.112743	33.425596	673
4715	463.822239	24.257903	488
4714	397.816705	20.805814	419
4422	277.378155	14.506877	292
4520	903.382745	47.246918	951
4574	929.914806	48.634544	979
4685	1136.474046	59.437593	1196
4854	668.262782	34.950143	703
4427	162.349341	8.490871	171
4596	195.01537	10.199304	205
4597	274.901344	14.37734	289
4686	598.262855	31.289147	630
4592	84.946289	4.442691	89
6490	800.807795	41.882248	843
2663	989.426704	51.747017	1041
1706	1509.207852	78.931571	1588
3787	1552.341471	81.187459	1634

Tabella 13 Fattori di emissione pesati – scenario di progetto

<i>Tratta</i>	<i>NOx g/(km*veic)</i>	<i>PM10 g/(km*veic)</i>	<i>PM2.5 g/(km*veic)</i>	<i>CO g/(km*veic)</i>	<i>BENZENE g/(km*veic)</i>
3988	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4061	0.403036843	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
3289	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
3841	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
3061	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
6366	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
2515	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
3144	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
6514	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
6354	0.403036843	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
6353	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
2518	0.403036846	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
6511	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
1048	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
2300	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
2305	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
2353	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4460	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4524	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
6106	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4462	0.403036790	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
6508	0.403036842	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
6505	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4617	0.403036843	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4715	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4714	0.403036846	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4422	0.403036841	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4520	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4574	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4685	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4854	0.403036843	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4427	0.403036849	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4596	0.403036846	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4597	0.403036842	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4686	0.403036843	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
4592	0.403036846	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
6490	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
2663	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
1706	0.403036845	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481
3787	0.403036844	0.03600709	0.0230419	0.4153494	0.0014481

Tabella 14 Emissioni attuali per km di strada - scenario di progetto

<i>Tratta</i>	<i>NOx g/(km*sec)</i>	<i>PM10 g/(km*sec)</i>	<i>PM2.5 g/(km*sec)</i>	<i>CO g/(km*sec)</i>	<i>BENZENE g/(km*sec)</i>
3988	0.279131	0.0249374	0.015958	0.2876584	0.001003
4061	0.051909	0.0046375	0.002968	0.0534948	0.000187
3289	0.104645	0.0093489	0.005983	0.1078414	0.000376
3841	0.260756	0.0232958	0.014908	0.2687217	0.000937
3061	0.174929	0.0156280	0.010001	0.1802726	0.000629
6366	0.159103	0.0142141	0.009096	0.1639630	0.000572
2515	0.224642	0.0200694	0.012843	0.2315042	0.000807
3144	0.154473	0.0138006	0.008831	0.1591924	0.000555
6514	0.071325	0.0063721	0.004078	0.0735040	0.000256
6354	0.056139	0.0050154	0.003209	0.0578536	0.000202
6353	0.100633	0.0089905	0.005753	0.1037073	0.000362
2518	0.064472	0.0057598	0.003686	0.0664411	0.000232
6511	0.063560	0.0056784	0.003634	0.0655014	0.000228
1048	0.153420	0.0137065	0.008771	0.1581073	0.000551
2300	0.130977	0.0117014	0.007488	0.1349784	0.000471
2305	0.127594	0.0113992	0.007295	0.1314921	0.000458
2353	0.183190	0.0163661	0.010473	0.1887868	0.000658
4460	0.113479	0.0101381	0.006488	0.1169455	0.000408
4524	0.068290	0.0061010	0.003904	0.0703763	0.000245
6106	0.087062	0.0077781	0.004977	0.0897219	0.000313
4462	0.001544	0.0001380	0.000088	0.0015914	0.000006
6508	0.041879	0.0037414	0.002394	0.0431581	0.000150
6505	0.106798	0.0095413	0.006106	0.1100607	0.000384
4617	0.075294	0.0067267	0.004305	0.0775940	0.000271
4715	0.054643	0.0048818	0.003124	0.0563122	0.000196
4714	0.046867	0.0041871	0.002679	0.0482985	0.000168
4422	0.032678	0.0029194	0.001868	0.0336762	0.000117
4520	0.106427	0.0095082	0.006085	0.1096787	0.000382
4574	0.109553	0.0097874	0.006263	0.1129000	0.000394
4685	0.133888	0.0119615	0.007654	0.1379781	0.000481
4854	0.078728	0.0070335	0.004501	0.0811331	0.000283
4427	0.019126	0.0017087	0.001093	0.0197107	0.000069
4596	0.022975	0.0020526	0.001313	0.0236766	0.000083
4597	0.032386	0.0028934	0.001852	0.0333755	0.000116
4686	0.070481	0.0062968	0.004029	0.0726345	0.000253
4592	0.010008	0.0008941	0.000572	0.0103132	0.000036
6490	0.094343	0.0084286	0.005394	0.0972252	0.000339
2663	0.116564	0.0104138	0.006664	0.1201252	0.000419
1706	0.177800	0.0158845	0.010165	0.1832313	0.000639
3787	0.182881	0.0163385	0.010455	0.1884681	0.000657

5.3 Dominio di calcolo

Il dominio di calcolo scelto per la simulazione modellistica in fase di esercizio è stato individuato a partire dall'analisi dello *studio trasportistico*, analizzando quindi gli archi viari principali attorno all'opera, sia per lo *Scenario Attuale* e *Scenario di Progetto*.

La scelta del dominio di calcolo è stata guidata da criteri di coerenza con l'analisi trasportistica di supporto, al fine di garantire una rappresentazione realistica e rappresentativa degli impatti emissivi associati all'intervento.

In particolare, sono stati individuati gli archi viari principali localizzati nell'intorno dell'opera, selezionando quelli che, in base allo studio della mobilità, risultano maggiormente interessati dalle variazioni nei flussi di traffico generate dal nuovo assetto viabilistico, sia nello Scenario Attuale che nello Scenario di Progetto.

Tale approccio consente di concentrare l'analisi modellistica sulle aree più sensibili agli effetti del progetto, garantendo al contempo l'affidabilità dei risultati in termini di stima delle concentrazioni al suolo degli inquinanti atmosferici. La delimitazione del dominio, pertanto, risponde all'esigenza di coniugare dettaglio territoriale e significatività ambientale, evitando al contempo un'estensione eccessiva e non necessaria del campo di calcolo.

La maglia di calcolo è rappresentata da una griglia di punti di dimensioni 100m x 100m.

Di seguito, in figura si riporta la rappresentazione grafica di tale maglia.

Figura 21. Maglia di calcolo



Tabella 15 Caratteristiche della maglia di calcolo

<u>Maglia di calcolo</u>	
Coord. del centro della maglia Asse X	676469,24
Coord. del centro della maglia Asse Y	4848030,82
Passo lungo l'asse X	100
Passo lungo l'asse Y	100
N° di punti lungo l'asse X	34
N° di punti lungo l'asse Y	23

6 Risultati

6.1 Calcolo degli Ossidi di Azoto e Biossido di Azoto ARM2

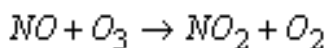
Gli ossidi di azoto NO_x sono presenti in atmosfera sotto diverse specie, di cui le due più importanti, dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico sono l'ossido di azoto, NO, ed il biossido di azoto, NO₂, la cui origine primaria nei bassi strati dell'atmosfera è costituita dai processi di combustione e, nelle aree urbane, dai gas di scarico degli autoveicoli e dal riscaldamento domestico. La loro somma pesata prende il nome di NO_x e la loro origine deriva dalla reazione di due gas (N₂ e O₂) comunemente presenti in atmosfera.

L'inquinante primario (per quanto riguarda gli NO_x) prodotto dalle combustioni dei motori è l'ossido di azoto (NO); la quantità di NO prodotta durante una combustione dipende da vari fattori:

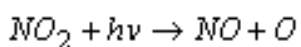
- temperatura di combustione: più elevata è la temperatura di combustione maggiore è la produzione di NO;
- tempo di permanenza a tale temperatura dei gas di combustione: maggiore è il tempo di permanenza, più elevata è la produzione di NO;
- quantità di ossigeno libero contenuto nella fiamma: più limitato è l'eccesso d'aria della combustione, minore è la produzione di NO a favore della produzione di CO.

Il meccanismo di formazione secondaria di NO₂ dai processi di combustione prevede che, una volta emesso in atmosfera, l'NO prodotto si converte parzialmente in NO₂ (produzione di origine secondaria) in presenza di ozono (O₃). L'insieme delle reazioni chimiche che intervengono nella trasformazione di NO in NO₂ è detto ciclo fotolitico e può essere così schematizzato:

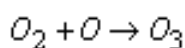
- l'O₃ reagisce con l'NO emesso per formare NO₂ e O₂



- le molecole di NO₂ presenti nelle ore diurne e soleggiate assorbono energia dalla radiazione ultravioletta (fotoni $h\nu$ di lunghezza d'onda inferiore a 430 nm). L'energia assorbita scinde la molecola di NO₂ producendo una molecola di NO e atomi di ossigeno altamente reattivi.



- gli atomi di ossigeno sono altamente reattivi e si combinano con le molecole di O₂ presenti in aria per generare ozono (O₃) che quindi è un inquinante secondario:



Le reazioni precedenti costituiscono un ciclo che, però, rappresenta solo una porzione ridotta della complessa chimica che ha luogo nella parte bassa dell'atmosfera. Infatti, se in aria avessero luogo solo queste reazioni, tutto l'ozono prodotto verrebbe distrutto, e l'NO₂ si convertirebbe in NO per convertirsi nuovamente in NO₂ senza modifiche nella concentrazione delle due specie, mantenendo costante il rapporto tra NO₂ e NO in aria.

Tuttavia, in condizioni di aria inquinata da scarichi veicolari (fonte di NO primario e NO₂ secondario) in presenza di COV incombusti e forte irraggiamento, il monossido d'azoto NO non interagisce più solo con ozono nel ciclo di distruzione, ma viene catturato e contemporaneamente trasformato in NO₂, con conseguente accumulo di NO₂ e O₃ in atmosfera.

I fattori di emissione per gli ossidi di azoto forniti dagli inventari delle emissioni sono espressi in termini di NOx e non NO2. Al contrario la vigente normativa sulla qualità dell'aria prevede dei valori limite (media annua e massima oraria) espressi come NO2 e non come NOx.

La relazione tra NO2 e NOx è oggetto di numerosi studi ed è stata formalizzata in una procedura che impiega il metodo ARM2 (Ambient Ratio Method Version 2), metodo adottato da US-EPA e che permette di sviluppare questo calcolo per applicazioni di modellistica ambientale diffusionale.

Nella metodologia ARM2 la concentrazione di biossido di azoto è calcolata, partendo dalle stime di quella di ossidi di azoto, applicando la seguente relazione:

- $NO_2 / NO_x = f(x)$; x = concentrazione di NOx ; dove $f(x)$ è una curva di regressione polinomiale

Come previsto dal modello ARM2 la relazione che viene applicata per il calcolo dei valori di NO2 a partire da quelli di NOx è la seguente:

$$NO_2 / NO_x = -1.1723E-17 NO_x^6 + 4.2795E-14 NO_x^5 - 5.8345E-11 NO_x^4 + 3.4555E-08 NO_x^3 - 5.6062E-06 NO_x^2 + 2.7383E-03 NO_x + 1.2441E+00.$$

Il modello di simulazione AERMOD, utilizzato per l'analisi della dispersione delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera, è programmato per permettere la conversione di NOx in NO2 applicando la metodologia ARM2 di US-EPA.

L'applicazione di tale metodo, in via del tutto cautelativa, è limitata all'intervallo di valori del rapporto NO2/NOx compresi tra 0,5 e 0,9. Pertanto:

- Il rapporto minimo predefinito utilizzato dal modello è stato: 0.5
- Il rapporto massimo predefinito utilizzato dal modello è stato: 0.9

A questo punto, quindi, i risultati modellistici calcolati in termini di NOx sono stati ricalcolati come concentrazioni di NO2 in modo da poterli confrontare con i valori limite riportati nel D.Lgs.155/2010 e smi

6.2 Valutazione dei risultati

I risultati delle simulazioni della dispersione di inquinanti in atmosfera relativi allo *stato attuale* e allo *stato di progetto* sono rappresentati nelle *mappe di concentrazione* in aria al livello del suolo relative per i diversi inquinanti.

Si è fatto riferimento anche a *ricettori puntuali*, individuati attraverso il codice RX, per i quali saranno poi calcolati tutti i valori di concentrazione degli inquinanti emessi.

Tali ricettori sono identificativi di gruppi di edifici abitativi o case singole che si trovano a ridosso degli assi stradali e che quindi sono potenzialmente più esposti.

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica di tali ricettori presi in considerazione.

Figura 22. Ricettori



I risultati sono basati sul calcolo del *massimo orario per l'ora di punta*, così come definito dallo studio trasportistico.

I risultati delle simulazioni effettuate per la stima della dispersione degli inquinanti in atmosfera legata al traffico derivante dall'esercizio dell'area di progetto e dello stato attuale sono riportati di seguito.

Tabella 16. Stima della dispersione degli inquinanti in atmosfera correlata al traffico

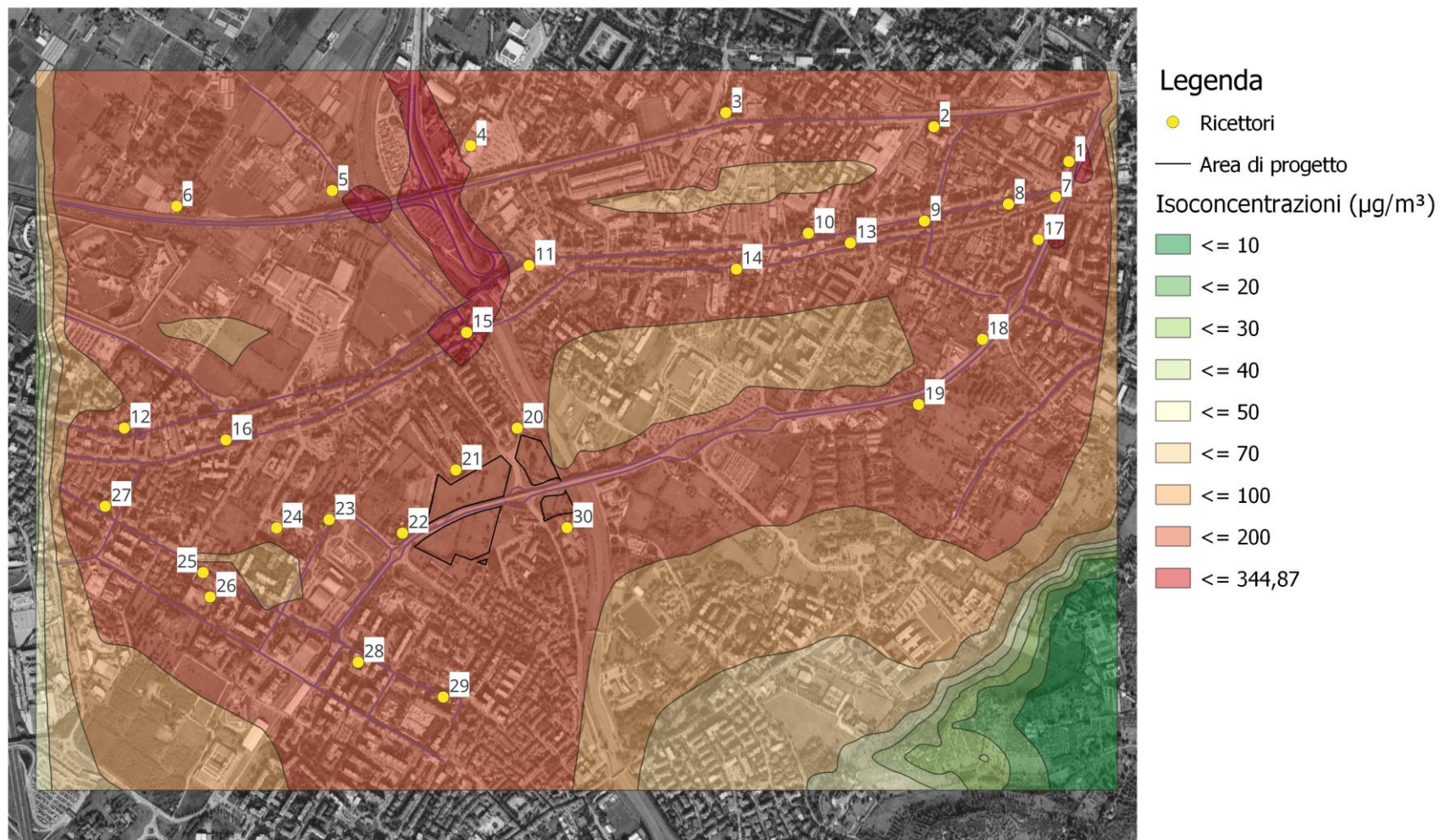
Ri- cet- tori	X	Y	Concentrazioni massime orarie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
			NOX Scena- rio attuale	NOX Scenario di progetto	PM10 Sce- nario attuale	PM10 Scenario di progetto	PM2,5 Sce- nario attuale	PM2,5 Scena- rio di progetto	CO Scena- rio attuale	CO Scenario di progetto	BENZENE Sce- nario attuale	BENZENE Scena- rio di progetto
1	6779 71,66	48488 52,54	148,7211	167,8469	25,17632	31,52721	17,11096	19,19481	305,80379	344,97258	1,07989	1,04494
2	6775 59,52	48489 58,65	125,03644	128,12278	14,90775	15,72145	9,50254	10,01897	170,59501	181,49374	0,59885	0,58319
3	6769 24,65	48490 01,84	139,52329	140,0234	21,79297	22,29664	13,87142	14,20986	250,77275	257,65253	0,8745	0,90121
4	6761 45,89	48489 01,02	159,65104	160,96321	28,3298	28,58474	18,28681	18,31679	329,37803	331,36569	1,14751	1,17275
5	6757 23,58	48487 63,83	147,57255	146,9493	26,33456	26,56845	16,86569	16,86319	304,70523	303,21278	1,06778	1,06714
6	6752 48,94	48487 15,86	165,47824	164,57939	29,74204	29,73633	18,91495	18,8781	341,51233	339,70104	1,18439	1,21296
7	6779 31,15	48487 44,08	140,38146	150,65589	22,93265	27,13729	14,60777	17,16695	262,57205	310,1539	0,9155	1,08549
8	6777 87,16	48487 22,48	127,99264	129,27507	15,59499	15,98603	10,00692	10,28093	180,86654	186,18364	0,63162	0,65435
9	6775 30,87	48486 70,65	132,57866	134,78743	17,59008	18,37201	11,17608	11,72992	200,38266	212,59212	0,70304	0,68829
10	6771 76,51	48486 33,36	122,16437	126,2128	13,91847	14,92371	8,96414	9,67937	161,59009	174,96684	0,56332	0,61778
11	6763 24,11	48485 34,92	127,21542	128,51501	15,34855	15,73076	9,84791	10,11574	178,00865	183,19514	0,62158	0,64451
12	6750 89,19	48480 38,08	113,24781	113,39435	12,35908	11,96861	7,84948	7,97488	137,4122	139,71063	0,43944	0,59581
13	6773 04,67	48486 03,47	121,82573	123,37476	13,84265	14,20904	8,8889	9,14564	160,65775	165,6005	0,56103	0,58301
14	6769 57,14	48485 23,8	127,26096	128,70163	15,35125	15,66596	9,85779	10,17016	178,02109	184,11224	0,62034	0,64841
15	6761 34	48483 30,15	248,32715	249,04854	43,19554	44,59506	28,72848	28,57332	510,97625	523,33638	1,81176	1,86292
16	6753 99,73	48480 01,67	119,68728	118,23069	13,15488	13,15488	8,58073	8,3952	154,90445	151,16177	0,54066	0,52003
17	6778 78,11	48486 14,03	139,70663	145,77236	22,1297	26,25417	14,08419	16,60926	253,17652	300,10853	0,88268	1,05016

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN ATMOSFERA (STUDIO METEO DIFFUSIONALE)

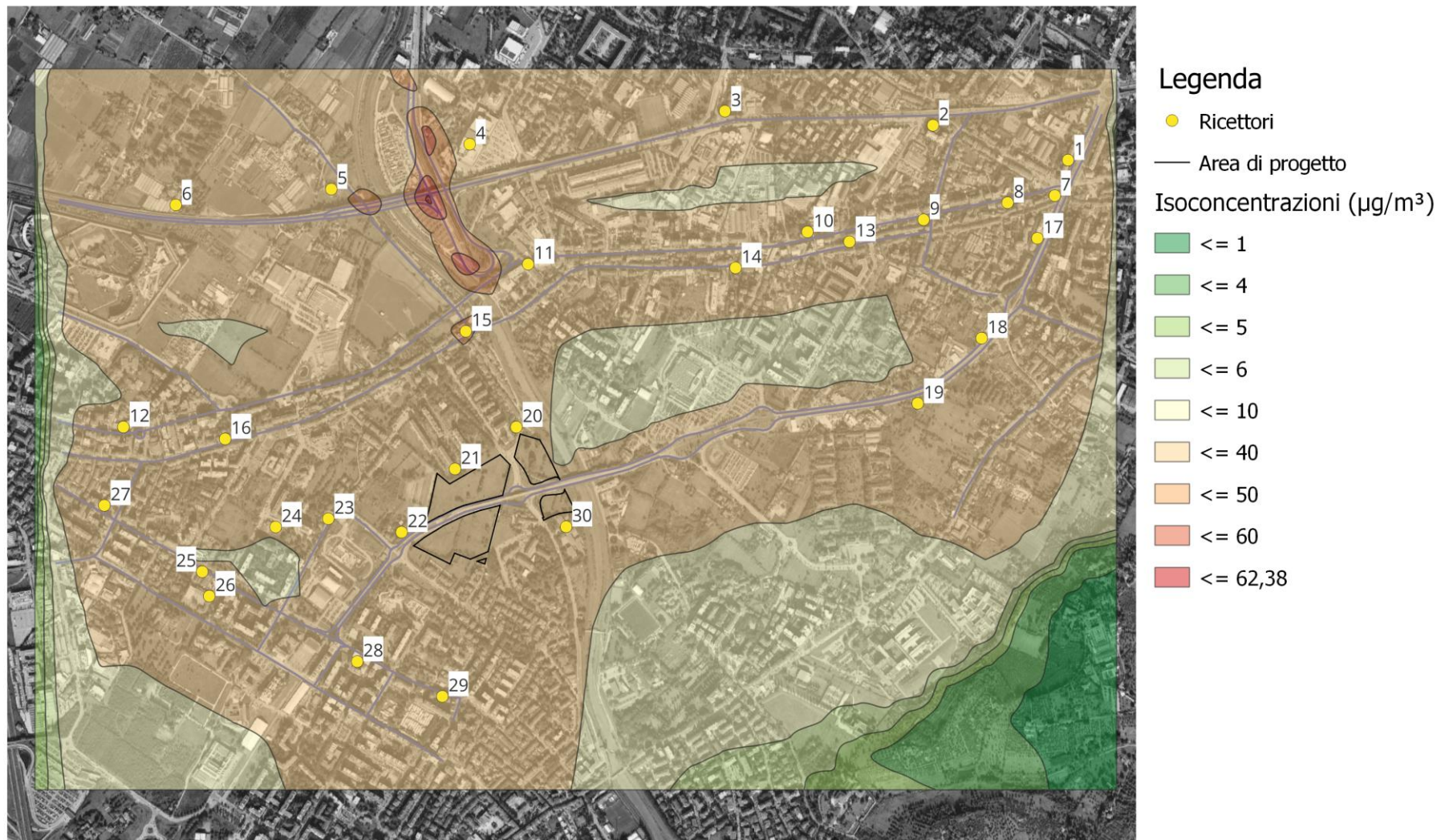
Ri- cet- tori	X	Y	Concentrazioni massime orarie (µg/m³)									
			NOX Scena- rio attuale	NOX Scenario di progetto	PM10 Sce- nario attuale	PM10 Scenario di progetto	PM2,5 Sce- nario attuale	PM2,5 Scena- rio di progetto	CO Scena- rio attuale	CO Scenario di progetto	BENZENE Sce- nario attuale	BENZENE Scena- rio di progetto
18	6777 07,92	48483 09,17	131,53849	137,5224	17,0744	20,23279	10,87113	12,79959	195,41323	231,26168	0,68132	0,80931
19	6775 12,9	48481 10	139,38434	141,3149	21,79162	24,41381	13,86058	15,49834	249,32438	280,43823	0,87105	0,95733
20	6762 88,31	48480 37,76	131,64593	132,00175	16,84303	16,89383	10,92083	10,92959	196,50164	197,3746	0,68315	0,7015
21	6761 00,93	48479 10,06	137,10074	137,27982	19,70874	19,96913	12,71549	12,74749	228,78171	229,59267	0,80197	0,7922
22	6759 38,09	48477 17	128,84151	128,50397	15,7239	16,27893	10,12817	10,09818	183,81891	183,09525	0,64101	0,69983
23	6757 14,58	48477 58,16	113,68522	114,03705	12,06924	12,28337	7,79965	7,82243	140,53581	140,59858	0,49233	0,48108
24	6755 53,98	48477 32,91	103,74014	104,11481	10,27807	10,51282	6,65123	6,6637	120,06016	120,03796	0,41893	0,41298
25	6753 29,87	48475 96,37	125,28955	125,36576	14,98713	15,18853	9,61315	9,61904	171,70575	172,78653	0,59454	0,67122
26	6753 51,23	48475 21,93	117,66055	117,72131	13,03615	13,21444	8,3712	8,37392	149,69879	150,41874	0,51882	0,57802
27	6750 31,13	48477 98,89	113,13178	117,07513	15,96265	15,25597	7,85897	8,18426	144,90921	148,21714	0,42313	0,58397
28	6758 02,83	48473 22,34	146,94947	146,97396	26,06116	26,49788	16,59079	16,55339	304,7109	300,17029	1,06476	1,07123
29	6760 62,43	48472 15,94	135,05244	134,46785	19,77327	20,0185	11,79876	11,78186	212,58402	212,34267	0,73423	0,87262
30	6764 40,17	48477 33,67	127,87525	130,31849	15,50688	16,35105	10,02659	10,51237	180,43014	189,95973	0,62777	0,67781
Val. Max	6760 19,24	48487 30,82	344,87281	346,43739	62,38116	62,38116	39,39875	39,64923	710,9748	713,13926	2,48618	2,51361

6.2.1 Scenario attuale - mappe di concentrazione

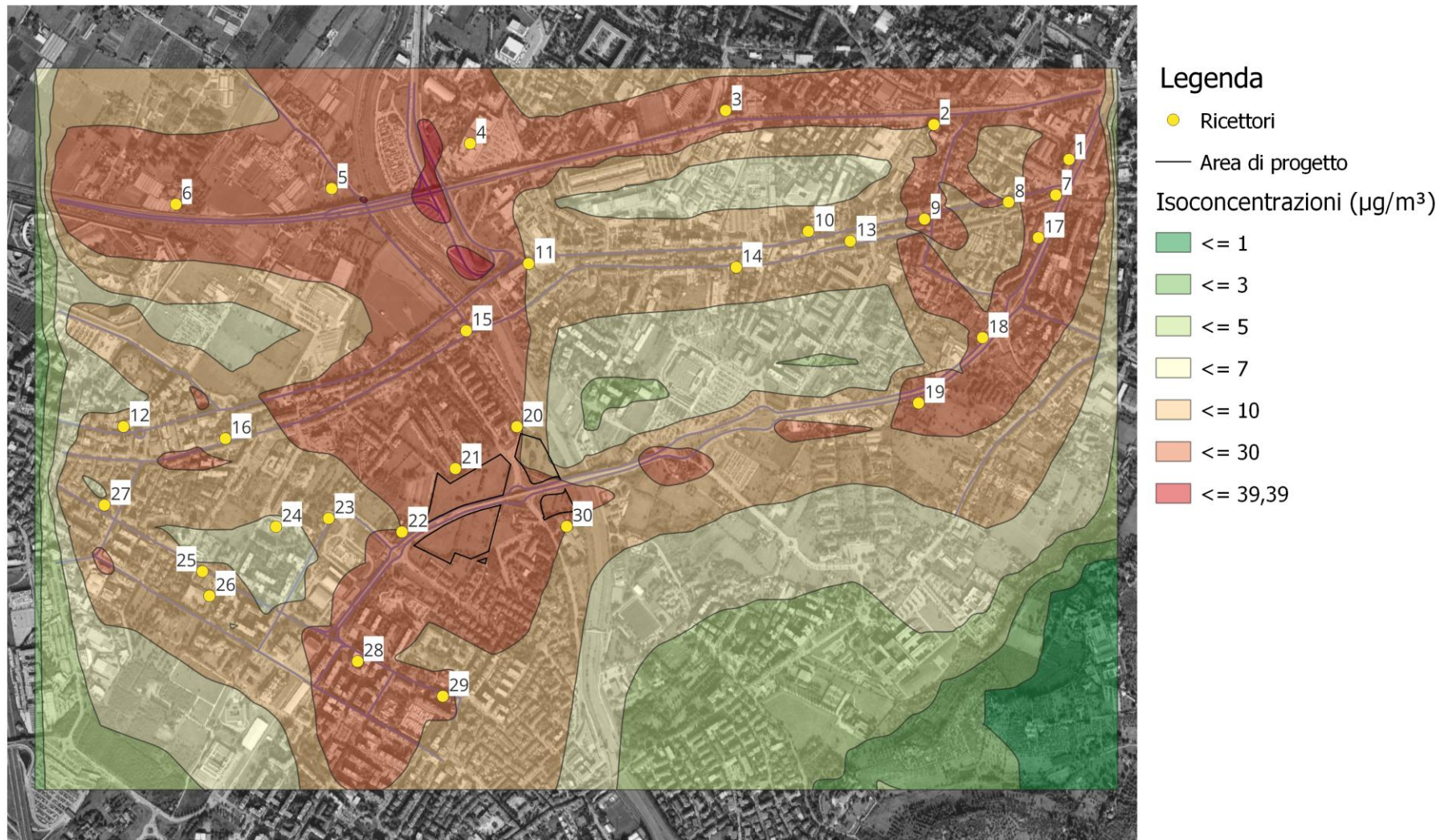
NO2 VALORE MASSIMO ORARIO



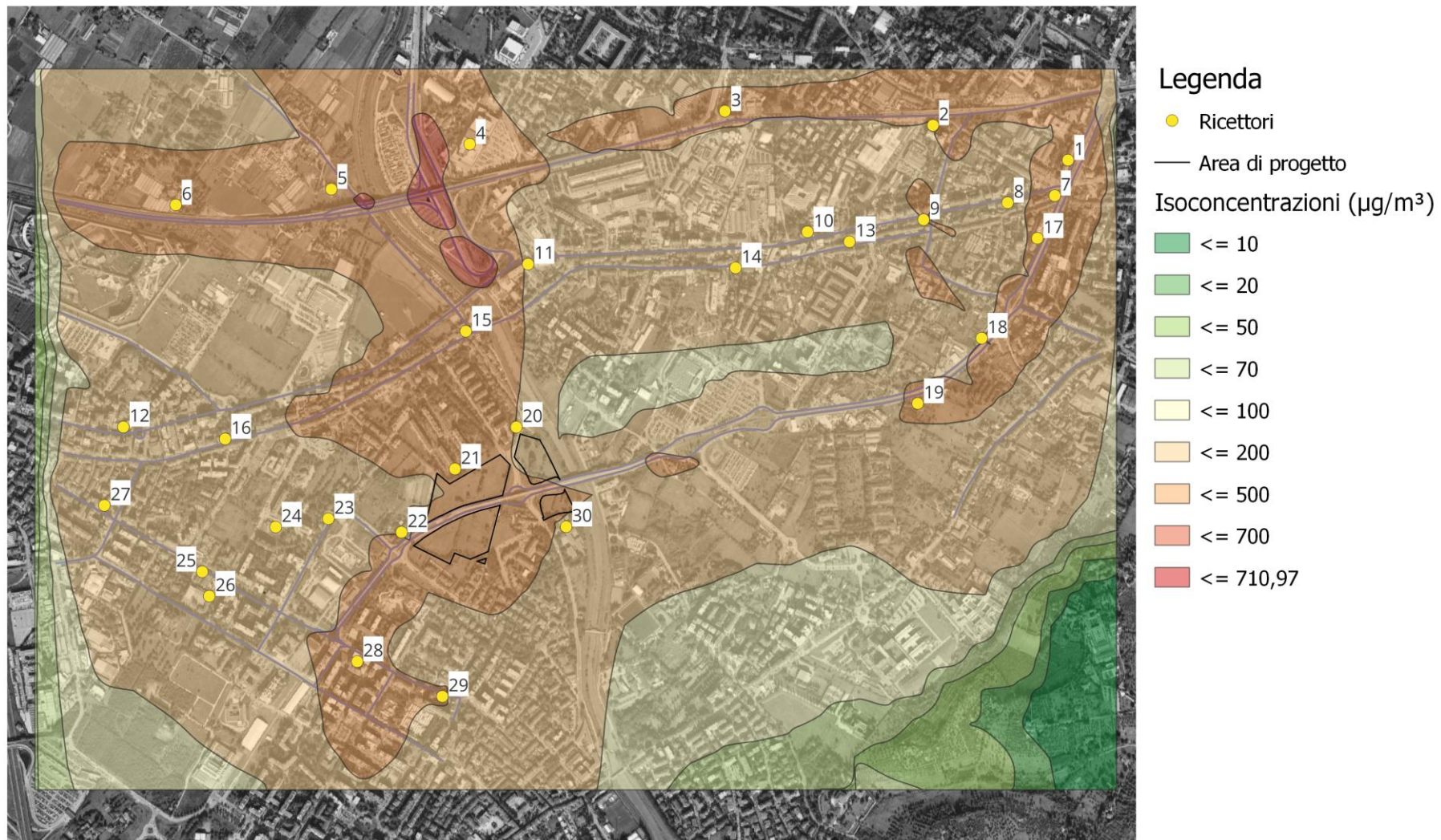
PM10 VALORE MASSIMO ORARIO



PM2.5 VALORE MASSIMO ORARIO



CO VALORE MASSIMO ORARIO

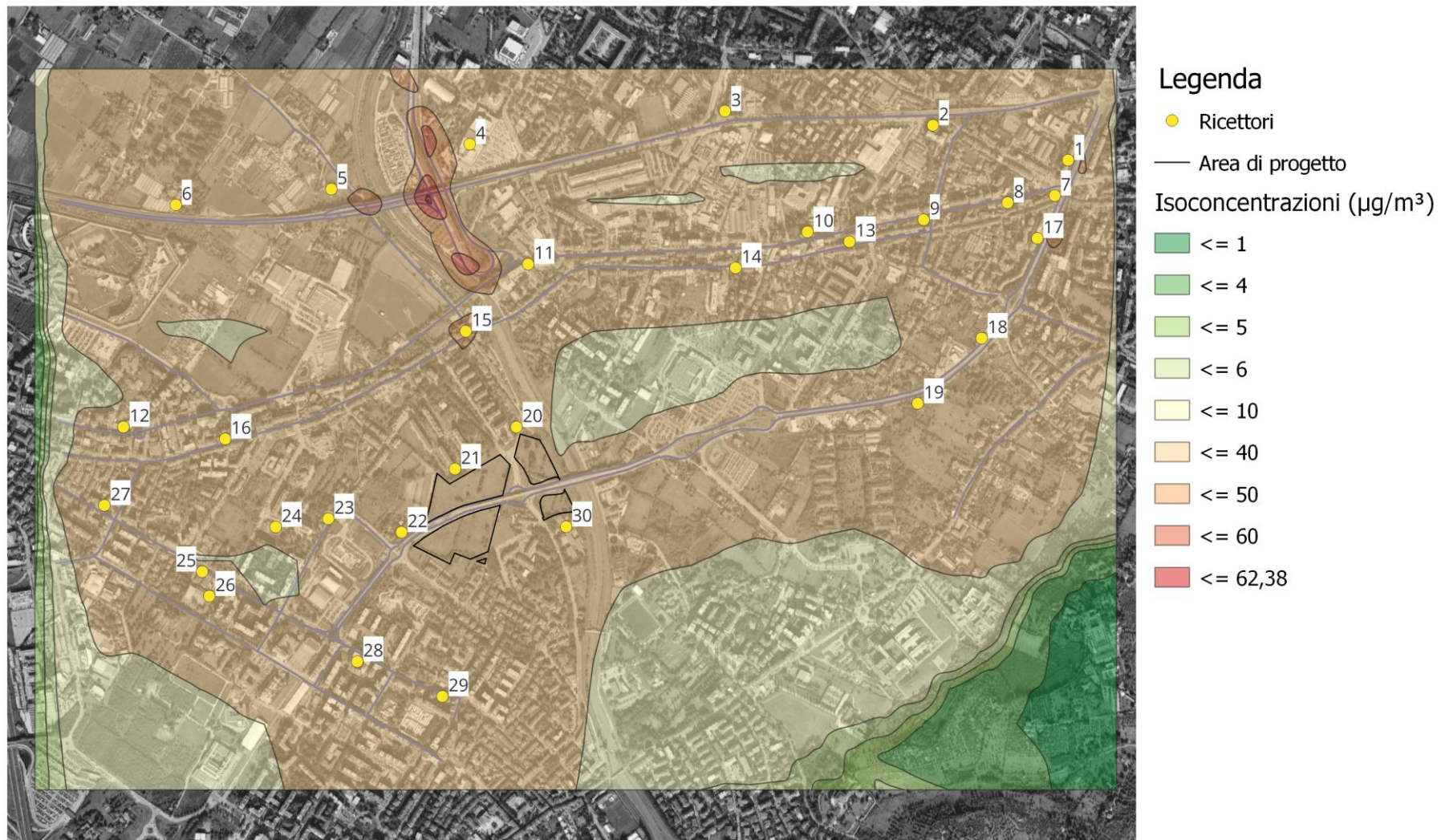


6.2.2 Scenario di progetto - mappe di concentrazione

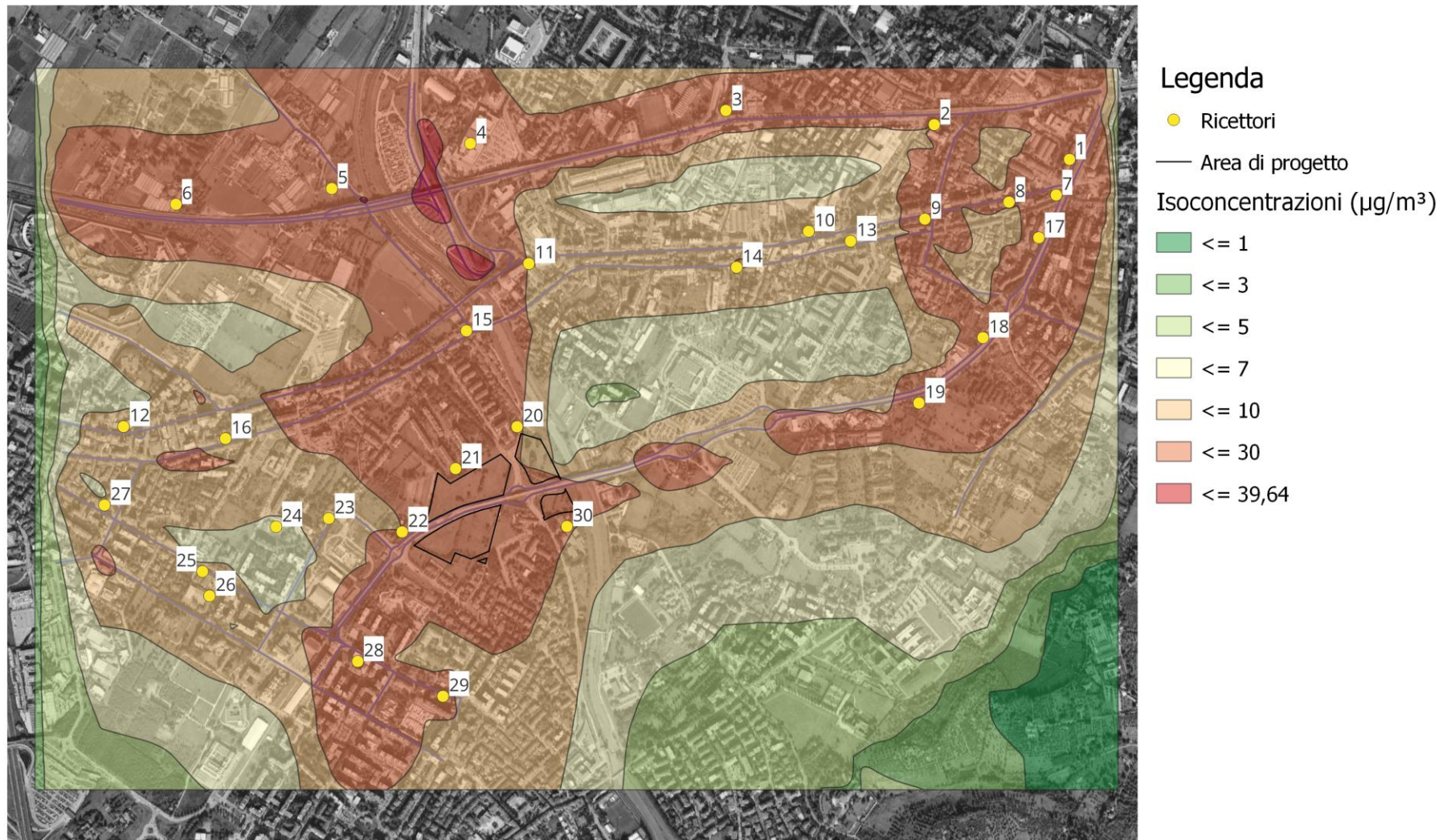
NOX VALORE MASSIMO ORARIO



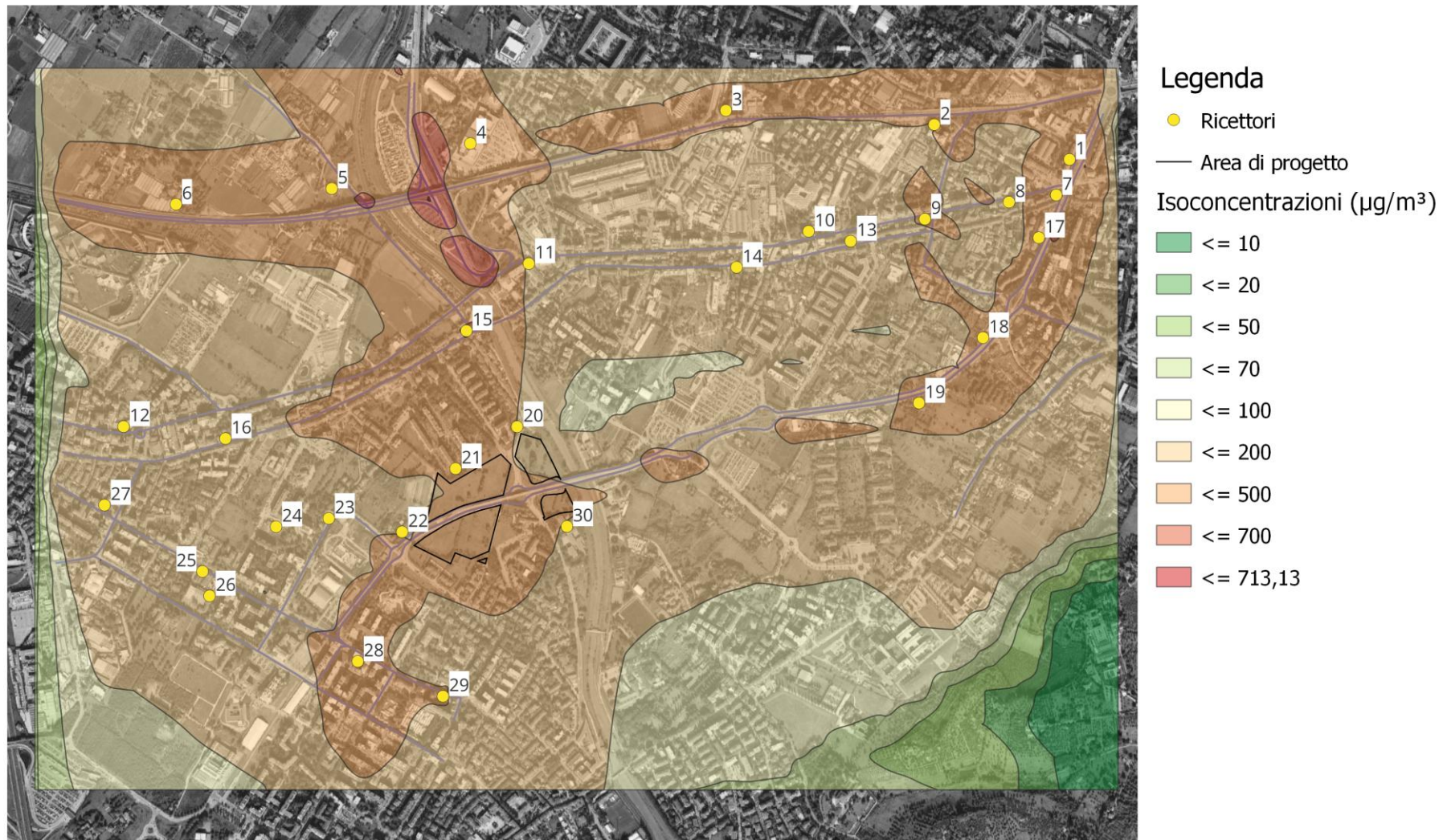
PM10 VALORE MASSIMO ORARIO



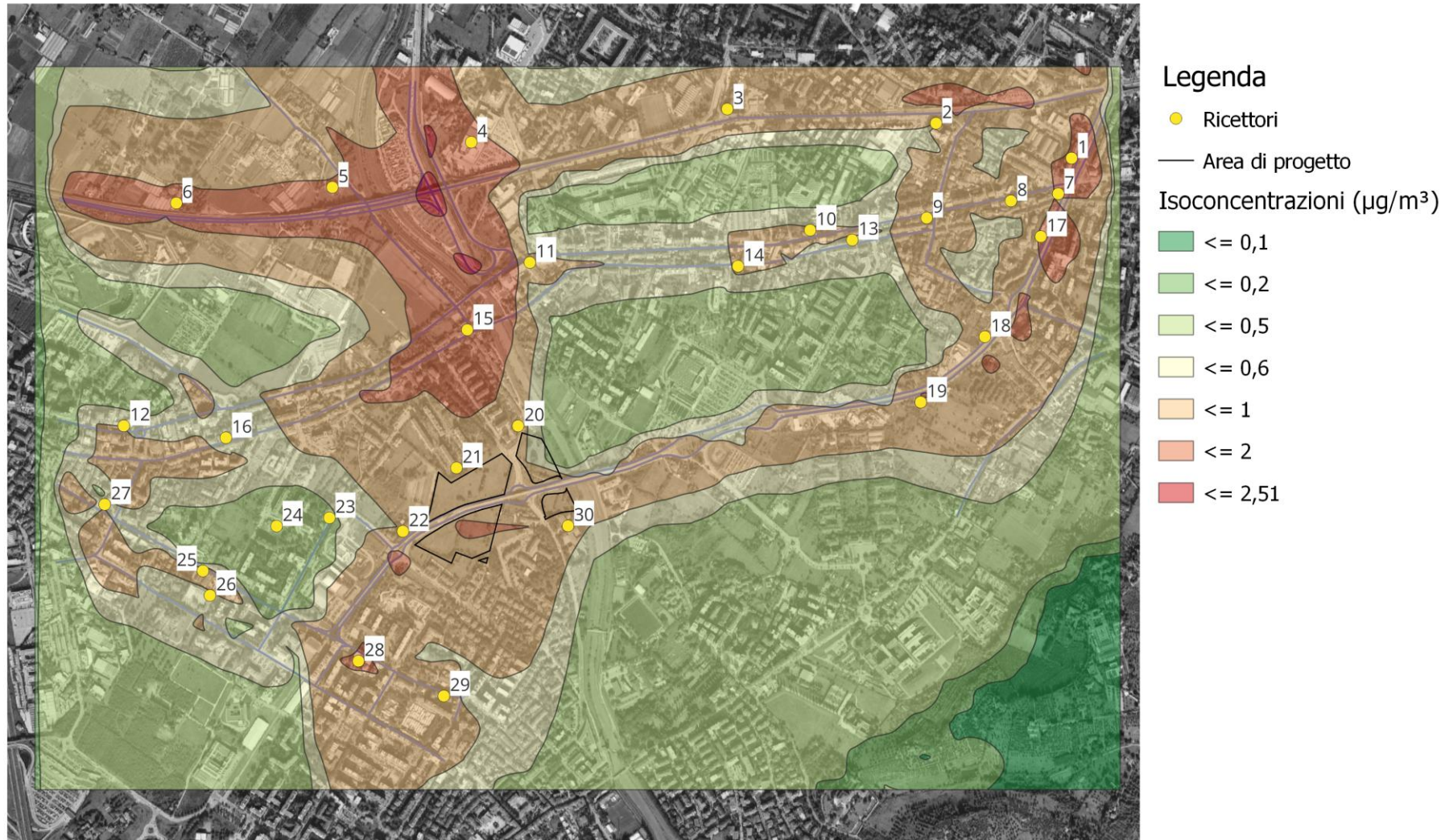
PM2.5 VALORE MASSIMO ORARIO



CO VALORE MASSIMO ORARIO



BENZENE VALORE MASSIMO ORARIO



7 Conclusioni

Le stime emissive, elaborate secondo gli *scenari "attuale" e "progettuale"*, evidenziano che l'aumento dei flussi veicolari legati all'insediamento del nuovo Centro Direzionale e delle funzioni complementari comporta **un incremento contenuto delle emissioni in atmosfera**.

Tale incremento risulta **sostanzialmente compatibile con il quadro emissivo esistente**.

In alcuni punti della rete, si osserva persino **una riduzione delle concentrazioni di inquinanti atmosferici** rispetto allo scenario attuale, dovuta principalmente alla diminuzione del traffico su alcuni archi stradali conseguente alla chiusura dell'attuale sede ubicata in località Pontignale.

Lungo la SS67, nel tratto più a ovest, in cui la rete stradale si alleggerisce di parte del carico veicolare a seguito dello spostamento della sede, si osserva un leggero calo delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici. Questo andamento è evidente nei ricettori R12 e R16, collocati in prossimità dell'asse viario.

In particolare, nel ricettore R12 si registra una diminuzione della concentrazione di PM10 di circa il 3%.

Anche il ricettore R16 mostra un generale miglioramento della qualità dell'aria: la concentrazione di NOX si riduce di circa l'1,2%, quella del PM2.5 del 2%, il CO diminuisce del 2,5% e il benzene mostra una flessione di circa il 3,7%.

Lungo viale Aldo Moro si prevede un incremento del traffico in entrambe le direzioni, sebbene in alcune tratte si registri un parziale calo dei volumi veicolari. A valle dell'intervento, infatti, si osserva un lieve miglioramento della qualità dell'aria, con riduzioni delle concentrazioni di tutti gli inquinanti comprese tra lo 0,2% e lo 0,4%.

È importante sottolineare che, nonostante l'aumento dei flussi veicolari nelle aree adiacenti all'intervento, non si rilevano incrementi significativi delle concentrazioni degli inquinanti. Il ricettore R20, ad esempio, registra aumenti contenuti, dell'ordine dell'1% circa.

Anche nel caso del ricettore sensibile R30, l'incremento massimo rilevato riguarda la concentrazione di NOX, con un aumento di circa il 5%, passando da 15,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 16,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tali evidenze si inseriscono in un contesto più ampio di riequilibrio della mobilità urbana, in cui la riduzione del traffico veicolare lungo determinati assi stradali non è attribuibile esclusivamente allo spostamento della sede del Centro Direzionale, ma anche all'effettiva promozione di modalità di trasporto alternative e a basso impatto emissivo. La vicinanza del nuovo insediamento alla fermata "Aldo Moro" della linea tramviaria T1, unitamente al potenziamento dell'accessibilità pedonale e ciclabile, contribuisce infatti a incentivare l'utilizzo del trasporto pubblico e della mobilità attiva.

Questo cambio modale, insieme alla riorganizzazione della viabilità, produce effetti positivi sulla qualità dell'aria, determinando – in alcune aree – una riduzione misurabile delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici, anche in presenza di un incremento complessivo dei flussi veicolari in altre zone.

Complessivamente, l'intervento si conferma **sostenibile sotto il profilo atmosferico**: i risultati delle simulazioni evidenziano come *lo scenario di progetto non altera la qualità dell'aria locale rispetto allo stato attuale simulato*.

Indice delle figure

Figura 1. Inquadramento territoriale	5
Figura 2. Zonizzazione e stazioni di RR per inquinanti all.V del D.Lgs 155/2010	11
Figura 3. Zonizzazione e stazioni di RR per Ozono	11
Figura 4. Andamenti delle medie annuali di NO2 periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)	14
Figura 5. Andamenti delle medie annuali di PM10 e superiori della media giornaliera periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)	15
Figura 6. Andamenti delle medie annuali di PM2.5 periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)	16
Figura 7. Andamenti delle medie annuali di Benzene periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)	16
Figura 8. Andamenti delle medie annuali di CO periodo 2007-2023 (Fonte ARPAT)	17
Figura 9. Localizzazione stazione meteo (Fonte: SIR)	18
Figura 10. Temperatura stazione di riferimento San Giusto anno 2024	19
Figura 11. Precipitazioni stazione di riferimento San Giusto anno 2024	19
Figura 12. Velocità del vento stazione di riferimento San Giusto anno 2024	20
Figura 13. Rosa dei venti	20
Figura 14. Frequenza di distribuzione delle classi di stabilità e di velocità del vento sull'anno	21
Figura 15 Esempio di alcune righe di un file scritto in formato "SAMSON"	25
Figura 16 Esempio del tool File Maker	25
Figura 17. Tipologie di configurazioni territoriali	26
Figura 18. Andamento orografico	28
Figura 19. Input sorgenti lineari	29
Figura 20. Archi viari considerati	30
Figura 21. Maglia di calcolo	37
Figura 22. Ricettori	40

Indice delle tabelle

Tabella 1 Valori di riferimento della qualità dell'aria Dlgs 155/2010 e smi	8
Tabella 2 Rete Regionale delle stazioni di misura degli inquinanti	13
Tabella 3. Confronto con i limiti di riferimento	14
Tabella 4: Confronto con i limiti di riferimento	14
Tabella 5: Confronto con i limiti di riferimento	15
Tabella 6 Confronto con i limiti di riferimento	16
Tabella 7 Confronto con i limiti di riferimento	17
Tabella 8 Fattori di emissione per tipologia di veicolo e parametro estratti da FE2021.xlsx di SINANET ISPRA	30
Tabella 9 Transiti orari per classe veicolare– scenario attuale	31
Tabella 10 Fattori di emissione pesati – scenario attuale	32

Tabella 11 Emissioni attuali per km di strada - scenario attuale	33
Tabella 12 Transiti orari per classe veicolare– scenario di progetto	34
Tabella 13 Fattori di emissione pesati – scenario di progetto	35
Tabella 14 Emissioni attuali per km di strada - scenario di progetto	36
Tabella 15 Caratteristiche della maglia di calcolo	37
Tabella 16. Stima della dispersione degli inquinanti in atmosfera correlata al traffico	41