

COMMITTENTE

PIRANI GROUP S.r.l.

LOCALITÀ

CARPI (MO)
Tangenziale Bruno Losi - Via Quattro Pilastrì

OGGETTO

**PIANO PARTICOLAREGGIATO IN VARIANTE
AL P.R.G. VIGENTE PER L'ATTUAZIONE DEL
COMPARTO DI TRASFORMAZIONE F14**

Cotefa.ingegneri&architetti

Sede legale, amministrativa, operativa

25124 Brescia, via Cefalonia n. 70

tel. +39.030.220692 +39.030.2424177 fax +39.030.220655

Sede operativa

27100 Pavia, via Capsoni n. 27

tel. +39.0382.303999 fax +39.0382.1753916

e-mail cotefa@cotefa.com



Sede centrale: Carrara, Via Frassina 21, 54033 (MS)

tel. +39.0585.855624 fax +39.0585.855617

e-mail home@ambientesc.it

Altre sedi: Firenze, Milano, Roma, Venezia, Ravenna, Taranto

TECNICO
INCARICATO

ING. ANDREA LUCIONI

REV.	DESCRIZIONE REVISIONE	REDAZ.	DATA	CONTR.	DATA	APPROV.	DATA
0	PRIMA STESURA	Ambiente SpA	03/11/2021	Ambiente SpA	03/11/2021	Ambiente SpA	03/11/2021
1	INTEGRAZIONE	Ambiente SpA	29/11/2022	Ambiente SpA	29/11/2022	Ambiente SpA	29/11/2022
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-

ELABORATO

R06

STUDIO IMPATTO VEICOLARE IN ATMOSFERA

SCALA

—

DATA

02/12/2021

PROT.

20-04

ARCH.GEN.

48178

COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV GL
= ISO 9001 =
= ISO 14001 =
= ISO 45001 =

**Proposta di Piano Particolareggiato in variante al PRG
comunale di Carpi per la destinazione d'uso U2/2
alimentare Comparto Direzionale – Commerciale
Zona F – Ambito F14**

Studio di impatto veicolare



GRUPPO DI LAVORO

Coordinamento tecnico

Ing. Andrea Lucioni



Gruppo di lavoro

Ing. Francesca Tamburini

Sommario

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO.....	5
3	METEOROLOGIA.....	6
4	QUALITÀ DELL'ARIA.....	7
5	MODELLI DI DISPERSIONE.....	10
5.1	Criteri che concorrono alla scelta del modello.....	10
5.2	Caline4.....	12
5.2.1	Schematizzazione del sito.....	13
5.2.2	Equazione per il calcolo della concentrazione.....	14
5.2.3	I coefficienti di dispersione verticale ed orizzontale.....	16
6	SCENARIO DI ESERCIZIO.....	17
6.1	Stima delle emissioni.....	18
6.2	Applicazione CALINE.....	19
6.3	Applicazione GIS e redazione delle mappe di concentrazione.....	21
7	RISULTATI.....	21
7.1	Mappe di ISOCONCENTRAZIONE.....	21
8	CONCLUSIONI.....	30

1 Premessa

Il presente elaborato contiene i risultati dello *studio specialistico* relativo alla *dispersione degli inquinanti generati dal traffico indotto dall'attuazione della Variante Urbanistica e contestuale Piani Particolareggiato (PP) che interessa il comparto F14, previsto dal vigente PRG della città di Carpi (MO), posto tra via Quattro Pilastrini e la tangenziale Bruno Losi.*

Lo studio atmosferico condotto ha lo scopo di *evidenziare le potenziali interferenze che il traffico indotto dal PP può causare sulla componente atmosfera nelle aree limitrofe alle aree interessate direttamente e verificare l'entità degli impatti atmosferici correlati al traffico indotto definendo le condizioni di conformità rispetto alle indicazioni fornite dalla vigente normativa in materia di qualità dell'aria.*

Lo studio è sviluppato, tramite l'applicazione del codice **CALINE4**, ed applicando i fattori di emissione ISPRA SINANET per il traffico veicolare al fine di stimare per ogni arco viario la ricaduta al suolo e l'impatto sulla qualità dell'aria della componente traffico nei vari scenari derivanti dal progetto di realizzazione di una nuova area commerciale di Carpi (MO).

2 Inquadramento

L'area oggetto è sita nel Comune di Carpi ed è compresa tra Via Quattro Pilastrini e la Tangenziale Bruno Losi, importante arteria per la viabilità nord-est della città e via di collegamento al casello dell'autostrada del Brennero A22. L'area d'intervento attualmente si presenta come un terreno agricolo pianeggiante completamente privo di alberature e vegetazione arbustiva, ma votato alla coltivazione. All'interno dell'area come da progetto, saranno realizzate tre medie-piccole strutture commerciali.

Figura 1. Inquadramento dell'area di intervento (in blu)



Caratteristica peculiare dell'area è la vicinanza alle zone industriali, commerciali e direzionali che si sviluppano lungo la tangenziale esterna della città a ridosso dell'autostrada e agli impianti sportivi ivi presenti.

I principali archi viari dell'area di progetto sono elencate di seguito e mostrate in figura seguente:

- a sud via Quattro Pilastrini;
- a est la tangenziale Bruno Losi;
- a est via Magazzeno.

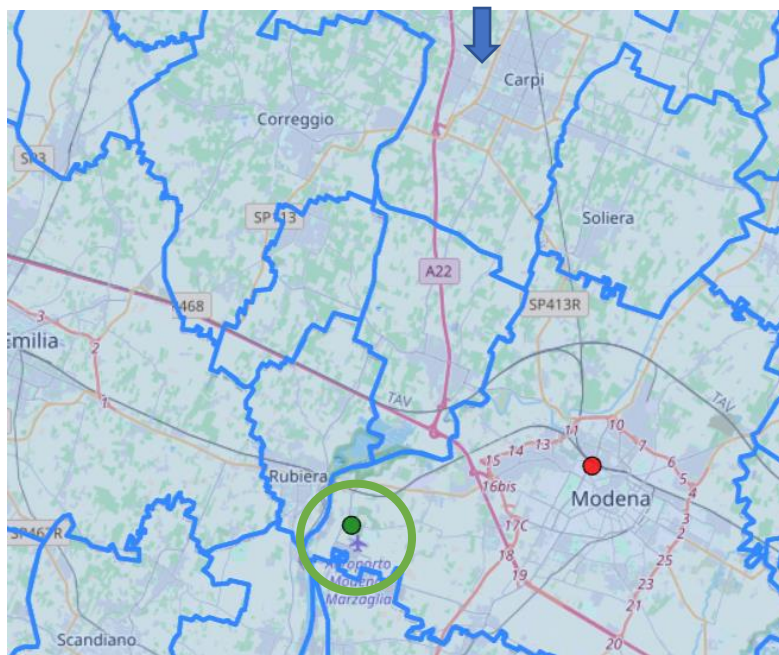
Figura 2. Archi viari interessati



3 Meteorologia

Di seguito si svolge l'analisi dei dati acquisiti da ARPAE, portale Dexter, della stazione più prossima, stazione di Marzaglia, al fine di mostrare quale sia il regime dei venti caratteristico dell'area allo studio. Si è proceduto ad utilizzare l'anno meteorologico ultimo disponibile, ovvero l'anno solare 2020.

Figura 3. localizzazione della stazione meteorologica considerata (in verde) Stazione di Marzaglia



LAT. : 44°38'14.87"N

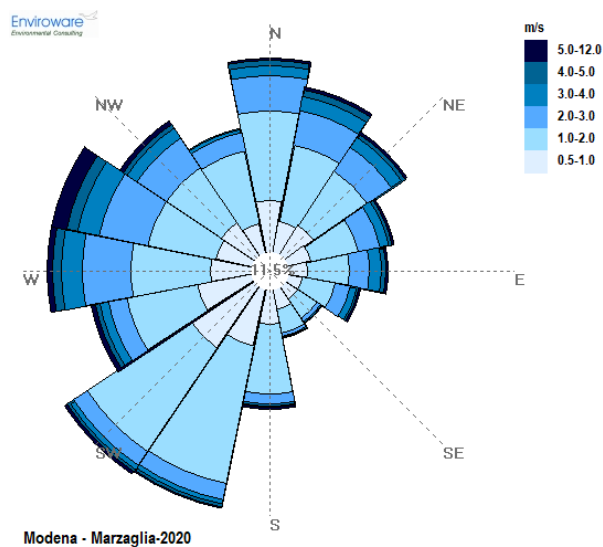
LONG. : 10°48'20.92"E

Distanza da area di studio 13km

Di seguito si riportano tabelle e figure che descrivono su base annuale il regime dei venti dell'area allo studio.

STAZIONE MARZAGLIA

Figura 4. rosa dei venti per l'anno 2020 e dati statistici sulle velocità del vento.



Intervallo	Da	Fino a	%
	[m/s]	[m/s]	
Calma	0	0.5	11.5
1	0.5	1.0	22.0
2	1.0	2.0	42.1
3	2.0	3.0	14.5
4	3.0	4.0	5.5
5	4.0	5.0	2.4
6	5.0	12.0	2.0

4 Qualità dell'aria

Il quadro normativo di riferimento per l'inquinamento atmosferico si compone di:

Normative comunitarie

- Direttiva 2008/50/CE del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa;
- Direttiva 2004/107/CE del 15 dicembre 2004, concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nickel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente.

Normative nazionali

- **D. Lgs. 351/99 e s.m.i.:** recepisce ed attua la Direttiva 96/69/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria. In particolare definisce e riordina un glossario di definizioni chiave che devono supportare l'intero sistema di gestione della qualità dell'aria, quali ad esempio valore limite, valore obiettivo, margine di tolleranza, zona, agglomerato etc;
- **D.M. 261/02:** introduce lo strumento dei Piani di Risanamento della Qualità dell'Aria, come metodi di valutazione e gestione della qualità dell'aria: in esso vengono spiegate le modalità tecniche per arrivare alla zonizzazione del territorio, le attività necessarie per la valutazione preliminare della qualità dell'aria, i contenuti dei Piani di risanamento, azione, mantenimento;
- **Decreto Legislativo 152/2006 e s.m.i.,** recante "Norme in materia ambientale", Parte V, come modificata dal D. Lgs. n. 128 del 2010. Allegato V alla Parte V del D. Lgs. 152/2006, intitolato "Polveri e sostanze organiche liquide". Più specificamente: Parte I "Emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico, scarico o stoccaggio di materiali polverulenti".
- **Decreto Legislativo. 155/2010 e s.m.i.:** recepisce ed attua la Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa, ed abroga integralmente il D.M. 60/2002 che definiva per gli inquinanti normati (biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, le polveri, il piombo, il benzene ed il monossido di carbonio) i valori limite ed i margini di tolleranza.

- **Decreto Legislativo n. 250/2012:** modifica ed integra il Decreto Legislativo n.155/2010 definendo anche il metodo di riferimento per la misurazione dei composti organici volatili;
- **DM Ambiente 22 febbraio 2013:** stabilisce il formato per la trasmissione del progetto di adeguamento della rete di monitoraggio;
- **DM Ambiente 13 marzo 2013:** individua le stazioni per le quali deve essere calcolato l'indice di esposizione media per il PM_{2,5};
- **DM 5 maggio 2015:** stabilisce i metodi di valutazione delle stazioni di misurazione della qualità dell'aria di cui all'articolo 6 del Decreto Legislativo n.155/2010;
- **DM Ambiente 26 gennaio 2017 (G.U.09/02/2017),:** integrando e modificando la legislazione italiana di disciplina della qualità dell'aria, attua la Direttiva (UE) 2015/1480, modifica alcuni allegati delle precedenti direttive 2004/107/CE e 2008/50/CE nelle parti relative ai metodi di riferimento, alla convalida dei dati e all'ubicazione dei punti di campionamento per la valutazione della qualità dell'aria ambiente;
- **DM Ambiente 30 marzo 2017:** individua le procedure di garanzia di qualità per verificare il rispetto delle qualità delle misure dell'aria ambiente effettuate nelle stazioni delle reti di misura dell'aria ambiente, effettuate nelle stazioni di reti di misura, con l'obbligo del gestore di adottare un sistema di qualità conforme alla norma ISO 9001.

Tabella 1. Valori limite D.Lgs. 155/2010 e smi

Valori di riferimento per la valutazione della QA in vigore			
Biossido di azoto NO ₂	Valore limite orario	Numero di superamenti Media oraria (max 18 volte in un anno)	200 µg/ m ³
	Valore limite annuale	Media annua	40 µg/ m ³
	Soglia di Allarme	Numero di superamenti Media oraria (3 ore consecutive)	400 µg/ m ³
Monossido di carbonio CO	Valore limite	Massima Media Mobile su 8 ore	10 mg/ m ³
Ozono O ₃	Soglia di Informazione	Numero di Superamenti del valore orario	180 µg/ m ³
	Soglia di Allarme	Numero di Superamenti del valore orario (3 ore consecutive)	240 µg/ m ³
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana (da valutare per la prima volta nel 2013)	Numero di superamenti della media mobile di 8 ore massima giornaliera (max 25 gg/anno come media degli ultimi 3 anni)	120 µg/ m ³
Biossido di Zolfo SO ₂	Valore limite orario	Numero di superamenti Media oraria (max 24 volte in un anno)	350 µg/ m ³
	Valore limite giornaliero	Numero di superamenti Media giornaliera (max 3 volte in un anno)	125 µg/ m ³
	Soglia di Allarme	Numero di superamenti Media oraria (3 ore consecutive)	500 µg/ m ³
Particolato Atmosferico PM ₁₀	Valore limite giornaliero	Numero di superamenti Media giornaliera (max 35 volte in un anno)	50 µg/ m ³
	Valore limite annuale	Media annua	40 µg/ m ³
Benzene C ₆ H ₆	Valore limite annuale	Media annua	5 µg/ m ³

Valori di riferimento per la valutazione della QA			
IPA come Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	Media annua	1 ng/ m3
Metalli pesanti			
Arsenico	Valore obiettivo	Media annua	6 ng/ m3
Cadmio	Valore obiettivo	Media annua	5 ng/ m3
Nichel	Valore obiettivo	Media annua	20 ng/m3
Piombo	Valore limite	Media annua	0.5µg/m3

A seguito della zonizzazione del territorio, ciascuna zona o agglomerato è stato classificato allo scopo di individuare le modalità di valutazione della qualità dell'aria in conformità alle disposizioni del D.lgs. 155/2010 e s.m.i.

A livello locale, facendo riferimento alla zonizzazione regionale per la qualità dell'aria, la zona di studio, appartenente al comune di Carpi, rientra nell'area denominata **IT0892 "PIANURE OVEST"**.

Per la caratterizzazione della qualità dell'aria locale si considera la stazione più prossima all'area di studio: stazione di **CARPI REMESINA** di cui di seguito si riportano le caratteristiche e gli inquinanti monitorati. Per la valutazione della qualità dell'aria del Benzene è stato fatto riferimento alla stazione di **MODENA GIARDINETTO**

Tabella 2. Caratteristiche stazioni di monitoraggio

Denominazione	Comune	LAT	LONG	Altitudine (m)	Tipologia	PM10	NO2	CO	Benzene
REMESINA	Carpi	44.800377	10.884255	25	Fondo suburbana	•	•	-	-
GIARDINI	Modena	44.636985	10.905724	39	Urbana Traffico			-	•

Si riporta l'analisi della qualità dell'aria locale disponibile presso gli archivi dei report ARPAE per il 2020

Tabella 3. Confronto con i limiti di riferimento

Stazione	NO2	PM10		Media annuale (V.L. 40 µg/m3)	BENZENE
	N° medie orarie >200 µg/m3 (V.L. 18)	Media annuale (V.L. 40 µg/m3)	N° medie giornaliere >50µg/m3 (V.L. 35 giorni)		Media annuale (V.L. 5 µg/m3)
REMESINA	0	26	57	30	
GIARDINI					1.1

Non si hanno stazioni che monitorano il CO nei pressi dell'area di progetto.

5 Modelli di dispersione

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.

5.1 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. È 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.

Nella presente relazione tecnica, si è selezionata la metodologia modellistica per la stima delle emissioni atmosferiche di previsione del potenziale impatto sulla qualità dell'aria. In particolare, per lo studio della qualità dell'aria si è selezionato CALINE4 che è citato come modello disponibile nelle LG nazionali.

5.2 Caline4

Il presente paragrafo contiene una descrizione del modello utilizzato.

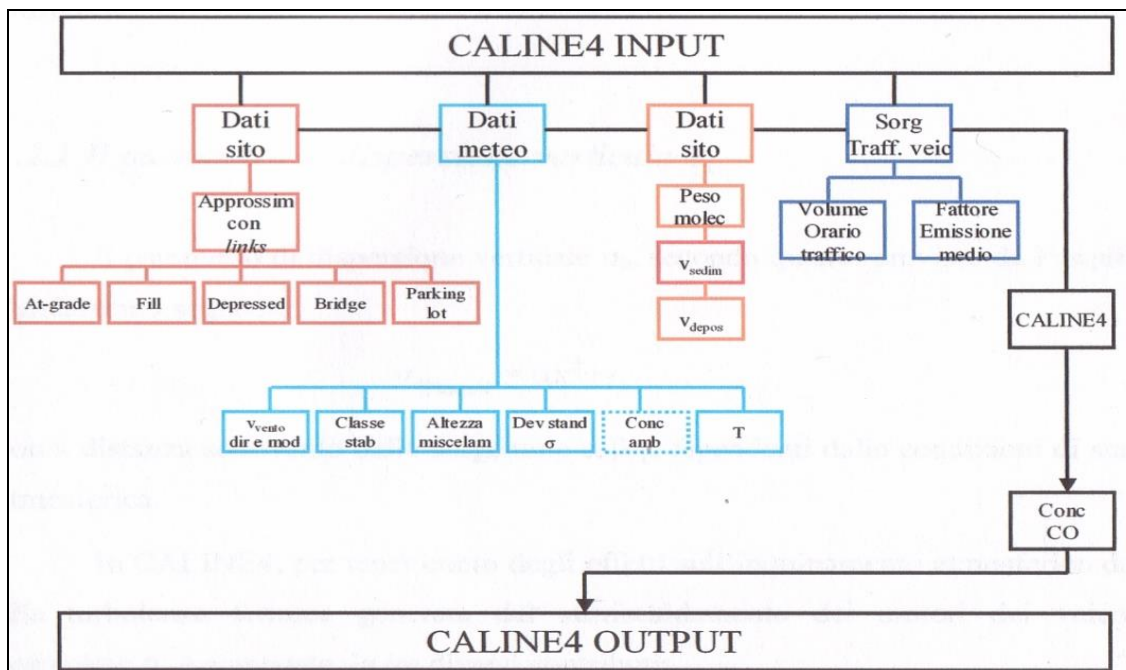
Il modello "CALINE4 - steady-state Gaussian dispersion model designed to determine air pollution concentrations at receptor locations downwind of highways located in relatively uncomplicated terrain" è inserito nella lista dei Preferred/Recommended Models - Appendix W Guidance – Permit Modeling Guidance US-EPA.

CALINE è il modello di calcolo utilizzato per lo studio di sorgenti lineari, come le emissioni dovute a traffico veicolare, appositamente realizzato dal Dipartimento dei Trasporti della California per le autostrade americane e successivamente convalidato dall'US-EPA. Tale modello è basato sull'utilizzo congiunto di un "box model" e della formulazione dell'equazione gaussiana di dispersione, valida per moti del vento laminari e atmosfera stabile.

La versione attualmente utilizzata del codice è CALINE4, che è anche la più recente al momento disponibile. Lo scopo di questo modello è di stimare gli impatti sulla qualità dell'aria nei pressi di strade o infrastrutture viarie lineari.

CALINE4 è in grado di simulare le concentrazioni in aria ambiente di inquinanti primari inerti come CO e particolato ed NO₂, originate dalle emissioni degli autoveicoli.

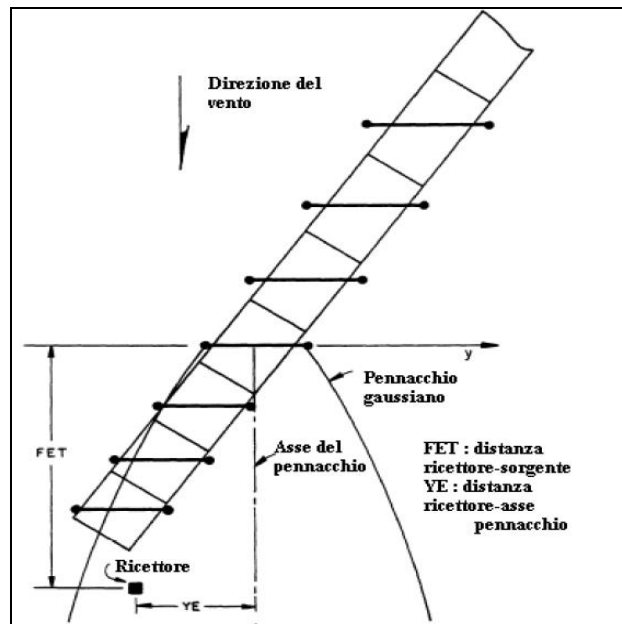
Figura 5. Schema a blocchi INPUT/OUTPUT del codice CALINE4



5.2.1 Schematizzazione del sito

Il modello suddivide l'asse stradale in una serie di elementi discreti (determinati tenendo conto della direzione del vento e della posizione rispetto alla strada del punto recettore in cui deve essere stimata la concentrazione) per i quali le singole concentrazioni sono calcolate e poi sommate per ottenere il valore finale in corrispondenza di un particolare recettore. Ciascun elemento in cui è ripartito il tratto stradale viene schematizzato come una sorgente lineare fittizia di emissione perpendicolare alla direzione del vento: per ognuna di queste sorgenti viene simulato un processo di dispersione gaussiana delle sostanze inquinanti.

Figura 6. Schematizzazione della sorgente in CL4



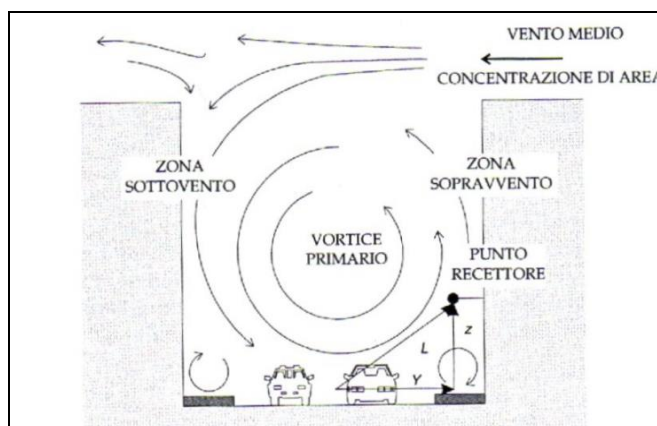
Per quanto concerne la definizione della geometria della strada, il modello permette di suddividere il tratto studiato fino ad un massimo di 20 segmenti continui, ognuno con differente orientamento. Ogni segmento è definito come retto e con un'ampiezza, una quota, un traffico ed un fattore di emissione per veicolo costante. E' possibile simulare sia tratti in trincea che sezioni elevate o ponti, oltre che stimare gli impatti generati da parcheggi posti a livello del terreno.

E' importante considerare come le variazioni della topografia al contorno possano influenzare in maniera decisiva la buona applicabilità del modello, in particolare l'utilizzo su terreni orograficamente complessi potrebbe invalidare l'applicabilità dell'equazione gaussiana di diffusione. All'interno del codice di calcolo è stato quindi incluso un algoritmo per la simulazione di canyon urbani o naturali, il quale prevede il calcolo degli effetti della riflessione orizzontale del pennacchio.

Il canyon proposto da CL4 è formato da barriere di altezza fissa (dipendente dall'altezza media degli edifici nel caso urbano) con distanze (destra e sinistra) variabili dall'asse della strada. Questo tipo di rappresentazione che ben si adatta alla struttura delle arterie dei centri urbani americani e dell'Europa centro-settentrionale, pone a priori qualche dubbio circa la riproducibilità delle caratteristiche delle arterie di centri posti nella Piana di Lucca dove le barriere dei canyon urbani sono costituite spesso da edifici non allineati e con altezze sensibilmente diverse.

L'input del codice, in presenza dell'opzione canyon urbano, richiede che la direzione del vento sia posta parallela all'asse stradale: condizione apparentemente non restrittiva imponendo un allineamento del flusso conforme alla topografia del sito.

Figura 7. Caratteristiche geometriche e di circolazione dell'aria in un canyon urbano.



5.2.2 Equazione per il calcolo della concentrazione

Sono impiegate due differenti equazioni per calcolare le concentrazioni sottovento, nei casi limite di venti paralleli o trasversali ad ogni asse viario:

- un'equazione per sorgente lineare continua infinita (*direzione del vento perpendicolare alla strada*);
- un'equazione per sorgente puntiforme (*direzione parallela alla strada*).

In questo caso ogni tratto della strada viene considerato come una successione di sorgenti areali quadrate di dimensione pari alla larghezza della strada, assimilate poi a sorgenti puntuali equivalenti, delle quali sono sommati gli effetti sulle concentrazioni.

In tutti i casi intermedi di direzione prevalente del vento viene utilizzata una media pesata delle due formule. La concentrazione in un punto $P(x,y,z)$, in riferimento ad un tratto infinitesimo di strada e ammettendo una riflessione totale da parte del suolo, è la seguente:

$$dC = \frac{q \cdot dv}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left(e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right)$$

Dove:

dC : incremento della concentrazione (ppm);

dv : emissione sul tratto infinitesimo (mg/s);

u : velocità del vento all'altezza H (m/s);

H : altezza della sorgente (m);

$\sigma_y \sigma_z$: parametro di dispersione orizzontale e verticale rispettivamente (m).

Figura 8. Schema della dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento

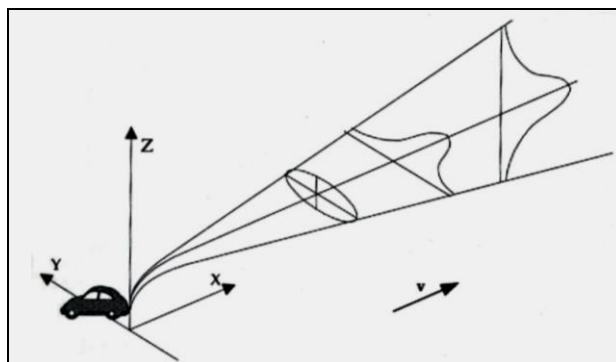
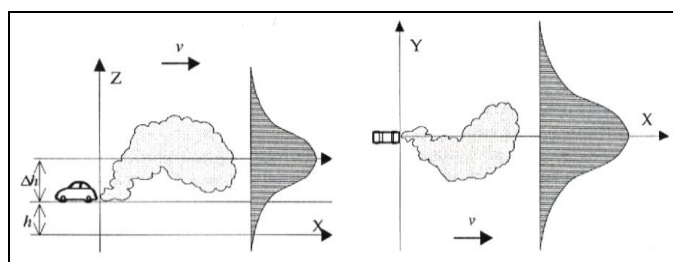


Figura 9. Vista dei piani (x,z) e (x,y) dello schema di dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento



Osservando le immagini sopra riportate, per una sorgente puntuale continua è assunto che il materiale inquinante venga trasportato dal vento nel verso in cui esso spira, distribuendosi secondo un sistema di riferimento cartesiano avente origine degli assi in un punto del suolo con l'asse Z ortogonale al piano stradale e uscente da esso e gli assi X e Y orizzontali.

Come è facile notare, nella sua formulazione standard il modello gaussiano è infatti sottoposto ad una serie di limitazioni, tra le quali ricordiamo:

1. *stazionarietà delle emissioni*: si assume che le emissioni siano costanti;
2. *stazionarietà ed omogeneità delle condizioni atmosferiche*: si assume che non intervengano variazioni della direzione e della velocità del vento, della stabilità atmosferica, durante il trasporto di inquinante dalla sorgente al recettore, ipotesi ragionevole solo per brevi distanze e in assenza di rapide variazioni delle condizioni meteorologiche;
3. *assenza di reazioni chimiche nell'atmosfera* che interessino gli inquinanti e fenomeni di dispersione al suolo;
4. *estensione infinita del dominio spaziale di dispersione degli inquinanti*: si assume che la dispersione non sia alterata dalla presenza del suolo, ostacoli, stratificazioni termiche dell'atmosfera;
5. *impossibilità di simulare calme di vento*: per velocità di vento prossime a 0, la concentrazione di un inquinante va all'infinito, dunque è necessario adottare un artificio considerando le calme di vento pari a 1 m/s.

5.2.3 I coefficienti di dispersione verticale ed orizzontale

Per i coefficienti di dispersione verticale (σ_z), CL4 utilizza una versione modificata delle curve di Pasquill-Smith, in modo da includere la turbolenza termica generata dal surriscaldamento dei motori dei veicoli. In questo modo tale parametro risulta composto da tre diversi contributi:

$$\sigma_z = \sigma_z(I) + \sigma_z(M) + \sigma_z(F)$$

$\sigma_z(I)$, $\sigma_z(M)$, $\sigma_z(F)$ = parametro di dispersione verticale Iniziale, Medio, Finale.

Tale parametro, indipendentemente dalla classe di stabilità atmosferica e dalla rugosità superficiale, dipende dal tempo di residenza della particella d'aria nella zona di turbolenza: maggiore è il tempo di permanenza in questa zona, maggiore è la dispersione verticale subita dalla particella. Tale parametro rimane costante fino ad una distanza della sorgente dipendente dall'ampiezza della strada e dall'angolo formato dalla direzione del vento e dalla posizione della strada stessa. All'aumentare della distanza, gli effetti della turbolenza termica producono un aumento nella dispersione verticale rappresentato tramite il parametro $\sigma_z(M)$, che ad una distanza dipendente dal parametro di dispersione orizzontale σ_y si esauriscono, conferendo alla dispersione il tipico andamento gaussiano indicato da Pasquill:

$$\sigma_z(P) = \alpha X^{\beta+\gamma}$$

con X distanza sottovento dalla sorgente (Km) e α, β, γ dipendenti dalle condizioni di stabilità atmosferica.

Il parametro di dispersione orizzontale (σ_y), invece, oltre che dalla deviazione standard della fluttuazione della direzione del vento orizzontale e dalla distanza sottovento dalla sorgente, dipende anche dal tempo di diffusione secondo il modello Draxler che pone:

$$\sigma_y = \sigma_\theta * X * F(T, t_L)$$

σ_θ = deviazione standard della direzione del vento orizzontale;

X = distanza sottovento alla sorgente;

$F(T, t_L)$ = funzione del tempo di diffusione T e del tempo di scala lagrangiano t_L , data da:

$$F(T, t_L) = 1 / [1 + 0.9 * (T/T')^{0.5}]$$

Dove T' è il tempo di diffusione necessario perché la funzione raggiunga il valore $F=0.5$ e $T' \propto t_L$

6 Scenario di esercizio

Al fine di implementare correttamente il *modello di calcolo* CALINE4 si è provveduto a svolgere delle simulazioni che permettessero di individuare la *curva di dispersione dei vari inquinanti* allo studio ovvero *PM₁₀, NO_x, CO e Benzene determinate dal traffico indotto*, per: lo **stato attuale**, quindi in assenza della previsione di PP in Variante al PRG comunale, e **nella configurazione con l'attuazione del Piano Particolareggiato**.

Considerando quanto sopra, ed in ragione dell'oggetto della presente procedura, lo studio valuterà i seguenti **due scenari**:

- **s0: scenario attuale;**
- **s1: scenario attuale + attuazione del Piano Particolareggiato.**

Il dominio di calcolo individuato è compreso in un'area di circa 1 km² definita con estensione di 1 km in direzione NORD – SUD e di 1 km in direzione EST-OVEST, mostrata in figura seguente.

Figura 10. dominio di calcolo per la valutazione dell'impatto sulla QA da traffico indotto



I dati di traffico sono stati valutati per quanto riportato nella *Relazione trasportistica*, a cui si rimanda per maggiori dettagli.

In sintesi, di seguito si riportano i dati riferiti alle caratteristiche della rete viaria considerate.

Tabella 4. Caratteristiche della rete viaria¹

Scenario	numero di archi viari	m totali	Veicoli leggeri Ora di punta	Veicoli pesanti Ora di punta
S0- scenario attuale	50	4.680	7.823	279
S1 - scenario attuale + PP	50	4.680	9.198	296

6.1 Stima delle emissioni

La presente stima è volta alla caratterizzazione dell'impatto sulla qualità dell'aria dalle emissioni da traffico determinate dell'opera in progetto.

A tale scopo in questo paragrafo si descrive la metodologia e la quantificazione dei fattori di pressione (emissioni inquinanti), determinati dalle diverse configurazioni di scenario previsti; infatti oltre allo scenario attuale e futuro con l'opera della struttura commerciale sarà analizzato anche lo scenario con l'opera commerciale e lo scenario programmatico con l'ospedale.

Come base di dati per la ricostruzione degli scenari emissivi si sono prese in considerazione i seguenti riferimenti esplicitati in tabella seguente.

Tabella 5. Base di dati per il calcolo delle emissioni da traffico

Oggetto	Fonte
Flussi di traffico per le direttrici e tratti di strada considerati.	Studio trasportistico
Fattori di emissione per inquinanti.	ISPRA SINANET, COPERT V

Per la stima delle emissioni si sono utilizzate le informazioni disponibili da ISPRA.

I fattori di emissione disponibili sono quelli per l'anno di riferimento il 2019. Nel database sono riportati fattori di emissione sia rispetto ai veic*km che rispetto ai consumi, con riferimento sia al dettaglio delle tecnologie che all'aggregazione per settori. Il database dei fattori di emissione è stato aggiornato coerentemente con l'aggiornamento del modello di stima COPERT version 5.2.2².

I fattori di emissione utilizzati per le simulazioni sono stati acquisiti dalla banca dati nazionale di ISPRA SINANET³ dal file "fe2019.xls" dove sono contenuti i fattori di emissione per tipologia di veicolo e inquinante. Sulla base delle informazioni disponibili si sono desunti i seguenti fattori di emissione in coerenza con lo studio trasportistico considerando i veicoli leggeri e pesanti.

Tabella 6. Fattori di emissione per tipologia di veicolo e parametro estratti da FE2019.xlsx di SINANET ISPRA

Parametro: Veicolo	NOx (g/veic*km)	CO (g/veic*km)	PM10 (g/veic*km)	Benzene (g/veic*km)
Veicoli leggeri	0.308589	0.595038	0.031175	0.002201
Veicoli pesanti	2.790973	0.887580	0.146098	0.000064

Per lo scenario di simulazione sviluppato nello Studio trasportistico *si è calcolato il totale delle emissioni relativamente all'ora di punta interne al dominio di calcolo per tutti i parametri.*

¹ Si precisa la tabella riporta, nello specifico: la "lunghezza totale (in metri) degli archi viari" considerati nello studio (da intendersi come somma della lunghezza dei singoli tratti), il numero di "veicoli leggeri" e quello dei "veicoli pesanti" in circolazione nell'ora di punta su tutti gli archi viari considerati (numero pari a 50 tratti). All'interno dell'Elab. R06 "Relazione trasportistica" facente parte della documentazione di cui al presente Piano in analisi, sono riportati, numericamente, le variazioni dei flussi di traffico su un elemento "puntuale" e non sulla totalità dei tratti stradali interni al dominio di calcolo preso invece in considerazione ai fini del presente Studio diffusionale. I dati comunque riportati in entrambi gli elaborati citati risultano quindi non contrastanti ma da ritenersi complementari.

² aggiornamenti descritti al link <http://www.emisia.com/utilities/copert/versions/>

³ <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp>

Nella tabella seguente i risultati.

Tabella 7. Emissioni totali per l'ora di punta all'interno del dominio di calcolo

Scenario	Emissioni Ora di Punta NOx (kg/h)	CO (kg/h)	PM10 (kg/h)	Benzene (kg/h)
S0- scenario attuale	0.5463	0.7464	0.0459	0.0025
S1 - scenario attuale + PP	0.6019	0.8418	0.0512	0.0029

6.2 Applicazione CALINE

Per stimare le ricadute degli inquinanti derivanti dal traffico in ambito urbano degli inquinanti primari l'agenzia US-EPA raccomanda la versione del modello CALINE, sviluppata dal CALTRANS (California Department of Transportation) nel 1984. L'utilizzo del CALINE IV è indicato dall'Istituto Superiore della Sanità (ISTISAN 93/36) e nella guida web del Centro Tematico Nazionale Aria Clima Emissioni. CALINE è un modello stazionario gaussiano che simula le ricadute degli inquinanti da traffico da archi viari. L'approccio del modello nel ricostruire le condizioni di dispersione degli inquinanti (e quindi le dimensioni laterale e verticale del pennacchio gaussiano), consiste nel considerare la zona direttamente sopra la carreggiata come una regione di rimescolamento uniforme, definita mixing zone. In tale zona i meccanismi dominanti sono la turbolenza meccanica creata dal movimento dei veicoli e termica dei gas di scarico. Queste componenti aggiuntive della turbolenza atmosferica impartiscono una dispersione verticale iniziale, in funzione del tempo di permanenza della massa inquinante nella mixing zone. Minore è la velocità del vento, maggiore è la dispersione verticale che subisce una particella d'aria prima di essere trasportata fino al recettore. Il parametro che ha il maggior peso nel calcolo delle ricadute è la direzione del vento, che pone o meno i siti recettori sottovento alla sorgente emissiva.

La topografia urbana e la presenza di edifici lungo l'arco viario considerato comportano l'incanalamento del vento, con variazione di velocità e direzione rispetto al vento esterno all'area edificata. La presenza degli edifici ai bordi della carreggiata, inoltre, influisce sulla turbolenza meccanica. Questo effetto, che comporta un incremento della dispersione verticale, viene quantificato attraverso la roughness (lunghezza di rugosità) dell'area di studio, ricavata in modo empirico come un decimo dell'altezza media degli edifici lungo entrambe le carreggiate dell'arco viario considerato. L'applicazione del modello CALINE IV nel presente caso di studio ha previsto le seguenti fasi:

- 1 Acquisizione ed elaborazione dei dati territoriali:
 - a. L'area di calcolo definita nell'intorno dell'area di impianto di estensione pari a circa 1 km in direzione E-O e 1 km in direzione N-S;
 - 2 Acquisizione ed elaborazione delle informazioni relative alle emissioni del traffico:
 - a. Sono elaborati i dati di emissione per il calcolo dei fattori di emissione dei veicoli pesanti utilizzando i fattori di emissione ISPRA SINANET applicandoli al flusso di veicoli individuato per lo scenario attuale.
 - 3 Applicazione del codice numerico di dispersione degli inquinanti per la valutazione delle concentrazioni nei recettori:
 - a. Il codice di dispersione CALINE IV viene utilizzato per la valutazione delle ricadute degli inquinanti dalle sorgenti emissive da traffico in area urbana. Applicato il codice di dispersione nella configurazione di "screening" (worst case) che identifica la peggiore situazione descrivibile dal modello dispersione a favore di sicurezza.
 - b. Le simulazioni forniscono come risultati le concentrazioni sul dominio di calcolo selezionato.
1. Risultati:
 - a. I risultati delle simulazioni sono rappresentati in mappe di isoconcentrazione su griglia cartesiana per il dominio di calcolo.

All'interno di CALINE4 le strade sono definite come segmenti rettilinei dei quali è necessario specificare le seguenti caratteristiche:

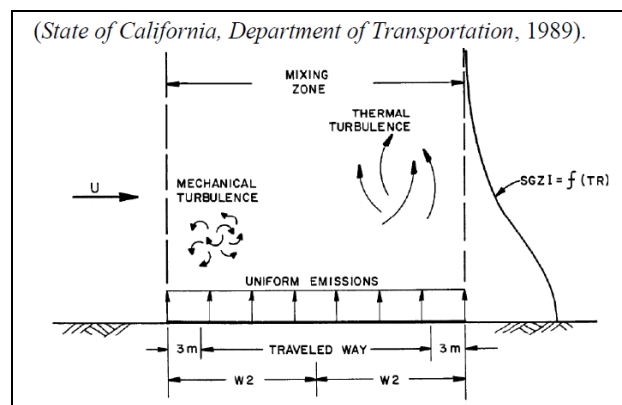
- endpoint delle coordinate;
- altezza delle strade dal piano campagna;
- larghezza della "mixing zone";
- dispersione verticale di canyon o bluff.

Endpoint delle coordinate: le coordinate cartesiane degli endpoint (x1, y1) e (x2, y2) definiscono le posizioni degli estremi dei tratti stradali. La lunghezza del segmento impostato in CALINE4 e le coordinate degli endpoint sono state definite secondo il sistema metrico.

Altezza delle strade dal piano campagna: per tutti i tipi di strade questo parametro, che rappresenta l'altezza della strada sopra il terreno circostante, è stato definito a quota 0 m.

Larghezza della "mixing zone": i calcoli gaussiani di diffusione si basano sul modello della "mixing zone" definita come un'area di spessore pari alla dimensione della strada +3 metri a destra e +3 metri a sinistra di essa (per tenere conto della dispersione orizzontale d'inquinante legata alla scia generata dal movimento dei veicoli). In quest'area si assume che la turbolenza e l'emissione siano costanti e che la turbolenza (termica e meccanica) sia dovuta alla presenza di veicoli in movimento a temperature elevate. La dispersione verticale di inquinante (SGZ1) è funzione della turbolenza ed è indipendente dal numero di veicoli (in un intervallo di 4000 – 8000 veicoli/ora) e dalla loro velocità (in un intervallo di circa 40 – 96 km/h): questo perché un incremento del traffico aumenta la turbolenza termica ma riduce la turbolenza meccanica legata alla velocità (da qui l'ipotesi di costanza della turbolenza nella "mixing zone"). La dispersione verticale di inquinante (SGZ1) dipende invece dal tempo di residenza TR dell'inquinante nella "mixing zone" che è funzione della velocità del vento.

Figura 11. Arco stradale e parametri considerati dal modello CALINE4



Dispersione verticale di canyon o bluff: il modello è basato su due assunzioni:

- il flusso del vento orizzontale omogeneo;
- le condizioni meteorologiche di stato stazionari piuttosto restrittive.

La topografia complessa può invalidare ognuna di queste assunzioni: i canyon possono canalizzare i venti, colline e valli possono causare frequenti spostamenti della direzione del vento. L'utilizzo di CALINE4 in terreni complessi deve pertanto procedere con cautela. Il modello gestisce situazioni di bluff e canyon riflettendo il flusso di dispersione dell'inquinante a distanze specificate su uno o più siti della mixing zone. La topografia dell'area di studio, il fatto che la presenza degli edifici sia già considerata con il parametro "rugosità superficiale" e l'assenza di stretti e continui canyon urbani che possano alterare la curva di dispersione verticale hanno portato a inserire entrambi questi parametri (canyon e bluff) con valore uguale a 0 per tutti gli archi stradali considerati.

Per definire la classificazione ai fini delle simulazioni con CALINE4 si sono valutati i seguenti parametri per ciascuna tipologia di strada necessari per individuare i dati di input per il modello.

Tabella 8. Parametri utilizzati all'interno di CALINE4

Tipologia di strada	Aerodynamic Roughness Coefficient	Mixing Zone Height
Rurale	10 cm	5
Strada grande scorrimento	100 cm	14

6.3 Applicazione GIS e redazione delle mappe di concentrazione

E' stato sviluppato un apposito algoritmo che permettesse di applicare il modello CALINE4 in modo sistematico ad un dominio di calcolo di grandi dimensioni (1 km x 1 km) quale quello descritto ed individuato per queste simulazioni ed in relazione al numero di archi viari da considerare ed alla loro lunghezza. L'algoritmo permette di ottenere risultati delle simulazioni sull'intera estensione del dominio di calcolo (1 km²) che è suddiviso in una griglia regolare di passo cella 10 m x 10 m costituita da:

- X: 100 celle;
- Y: 100 celle.

7 Risultati

Si sono elaborati i risultati dell'applicazione del codice di dispersione, come detto nella modalità *WORST CASE per l'ora di punta giornaliera*.

I risultati sono stati rappresentati sotto forma di mappe di concentrazione per gli inquinanti considerati. Tutti i valori sono stati confrontati con i valori limite di qualità dell'aria previsti dal D.Lgs 155/2010 e smi.

7.1 Mappe di ISOCONCENTRAZIONE

Nelle seguenti figure si mostrano i risultati delle simulazioni svolte per i due scenari di esercizio con il codice CALINE4 e processati i risultati con l'algoritmo GIS appositamente sviluppato.

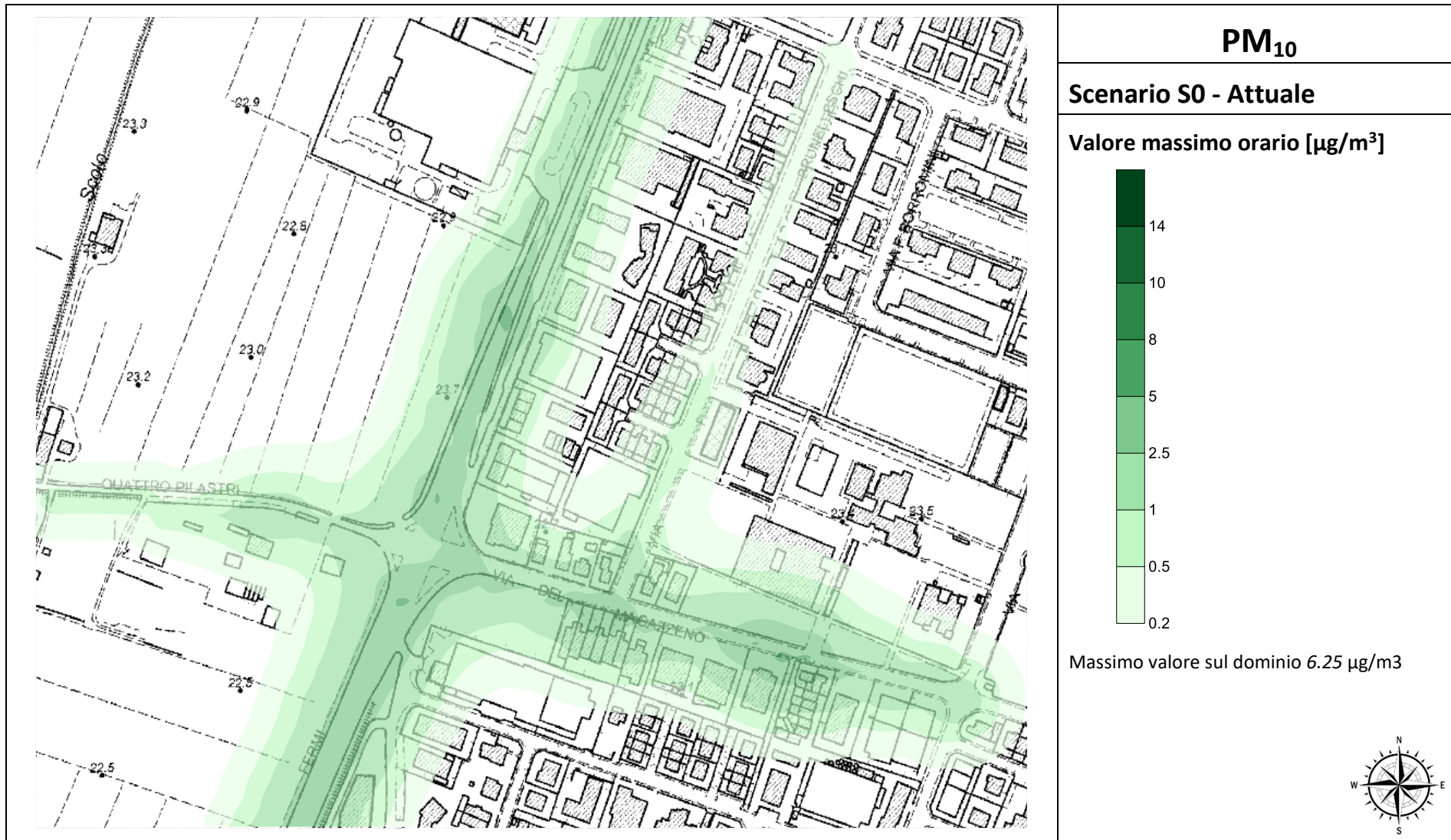
Le mappe sono classificate come segue, per ogni scenario simulato:

- NO_x: concentrazione massima oraria di NO_x;
- CO: concentrazione massima oraria di CO;
- PM₁₀: concentrazione massima oraria di PM₁₀;
- C₆H₆: concentrazione massima oraria di C₆H₆.

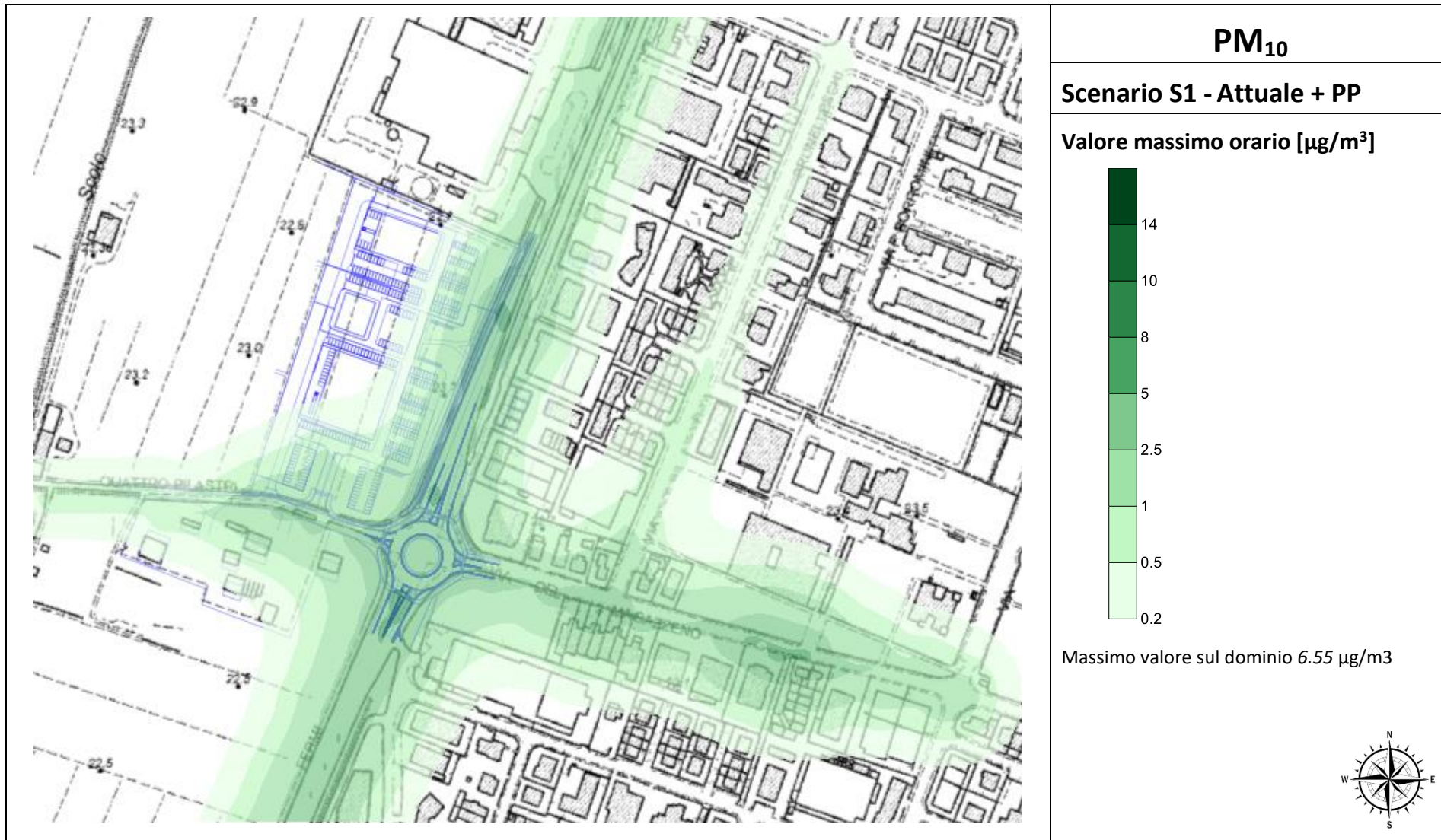
Nella seguente tabella si mostrano i risultati ottenuti dalle simulazioni sul dominio di calcolo considerando il valore massimo orario stimato dal codice CALINE.

Tabella 9. Risultati della simulazione per lo scenario considerato

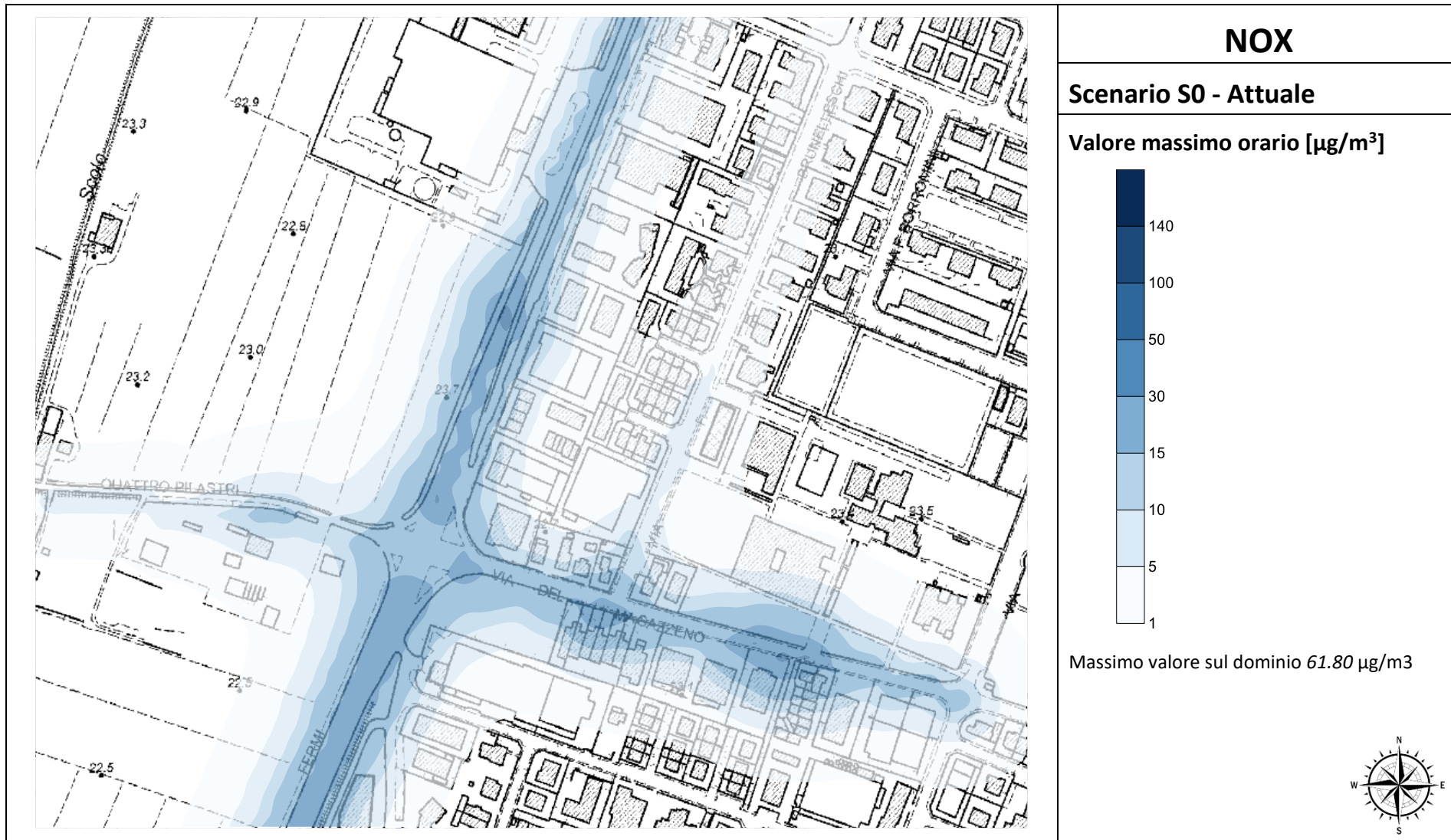
	Media oraria NO _x (NO ₂) [µg/m ³]	Media oraria PM ₁₀ [µg/m ³]	Media oraria CO [µg/m ³]	Media oraria C ₆ H ₆ [µg/m ³]
S0- scenario attuale	61.80	6.25	119.17	0.44
S1 - scenario attuale + PP	64.80	6.55	124.95	0.46
Valori limite 155/2010 e smi	Media oraria 200 µg/m ³	Media giornaliera 50 µg/m ³	Media mobile su 8h 10.000 µg/m ³	Media annuale 5 µg/m ³
Valori di qualità dell'aria anno 2020	Media oraria (stazione Carpi) 104 µg/m ³	Media giornaliera (stazione Carpi) 102 µg/m ³	-	Media oraria (stazione Giardini) 7.9 µg/m ³



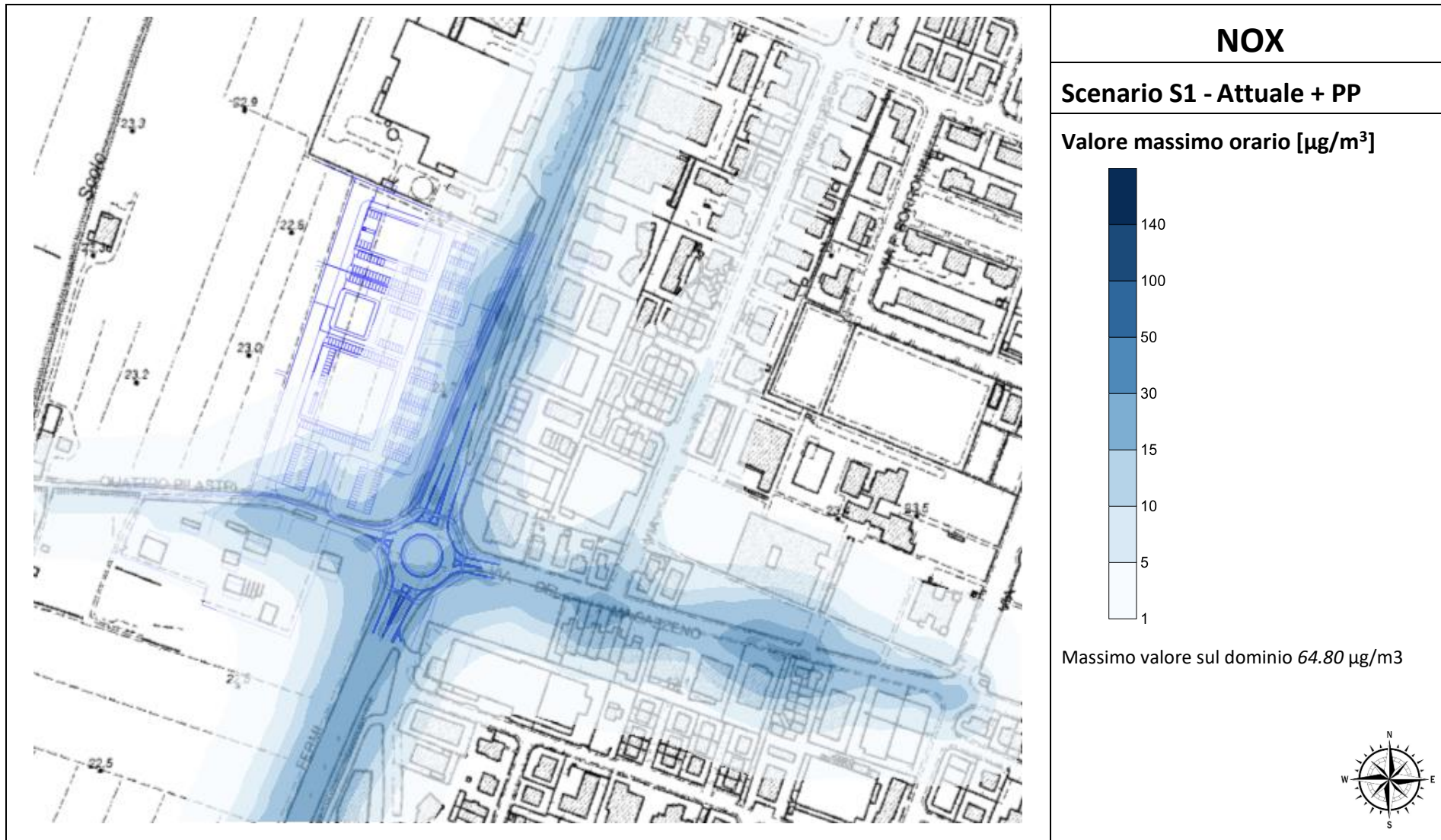
Mappa di isoconcentrazione del valore massimo orario per PM10 - TRAFFICO INDOTTO SCENARIO S0 (µg/m³)



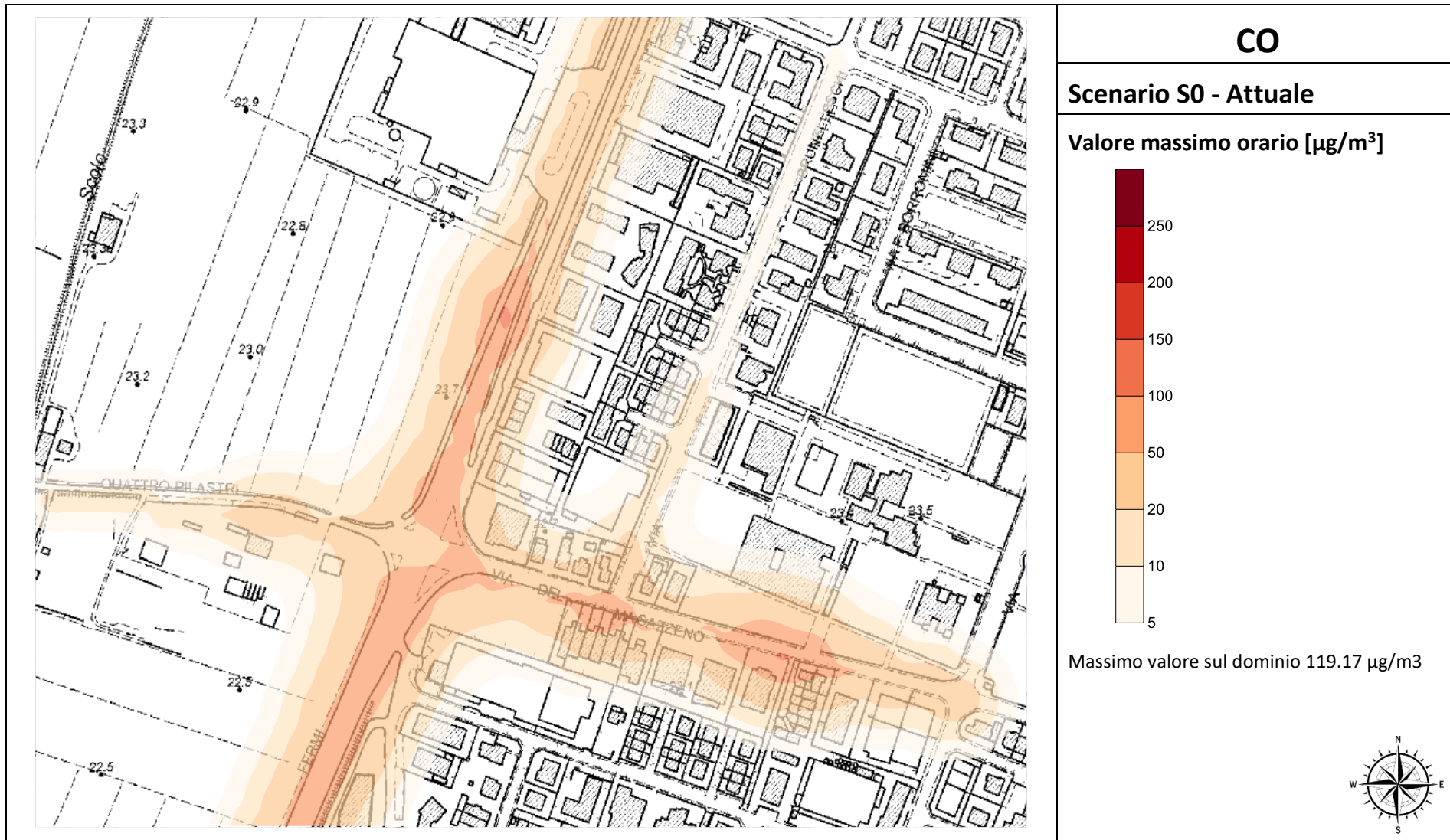
Mappa di isoconcentrazione del valore massimo orario per PM10 - TRAFFICO INDOTTO SCENARIO S1 (µg/m³)



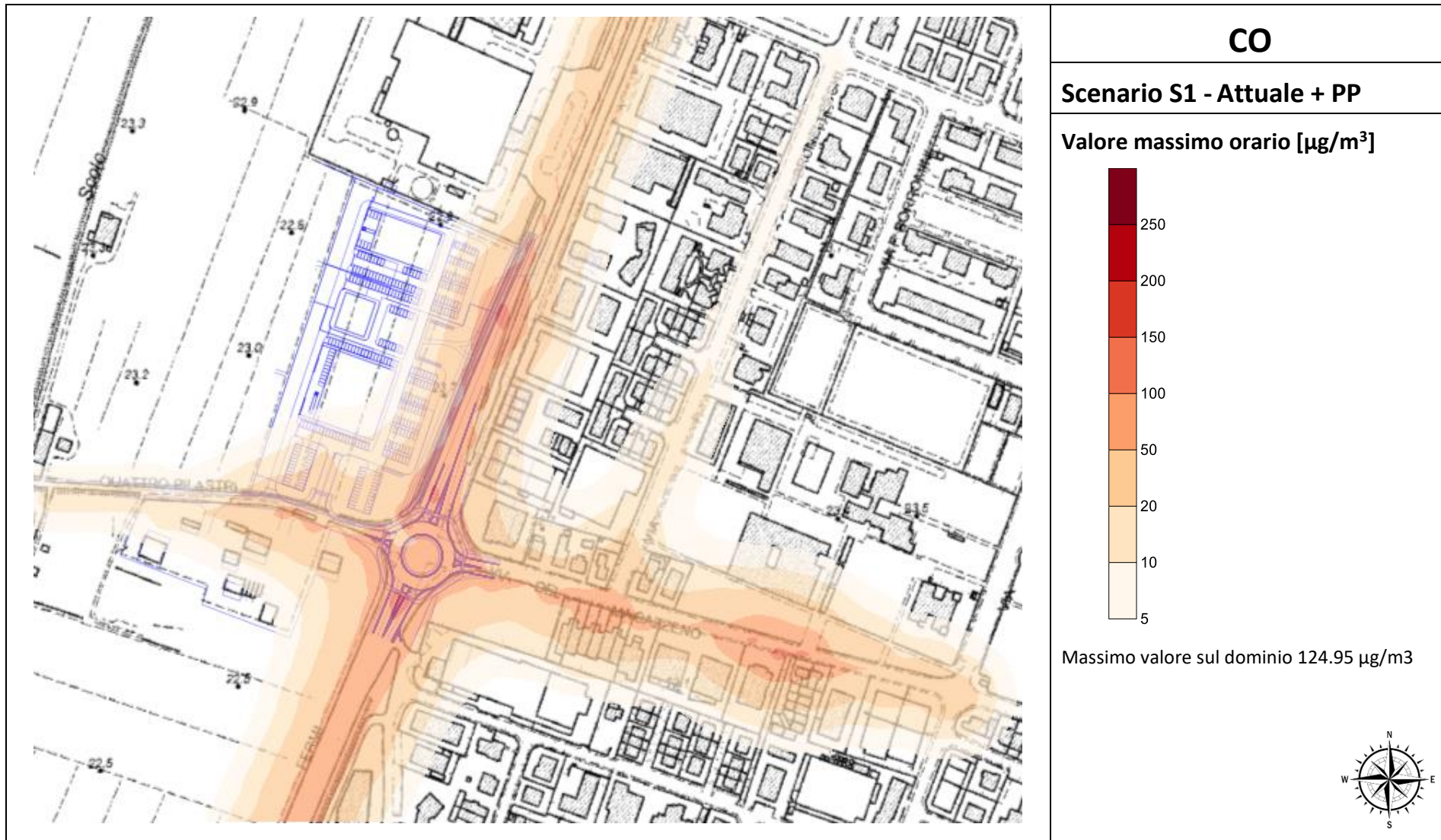
Mappa di isoconcentrazione del valore massimo orario per NOX - TRAFFICO INDOTTO SCENARIO S0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



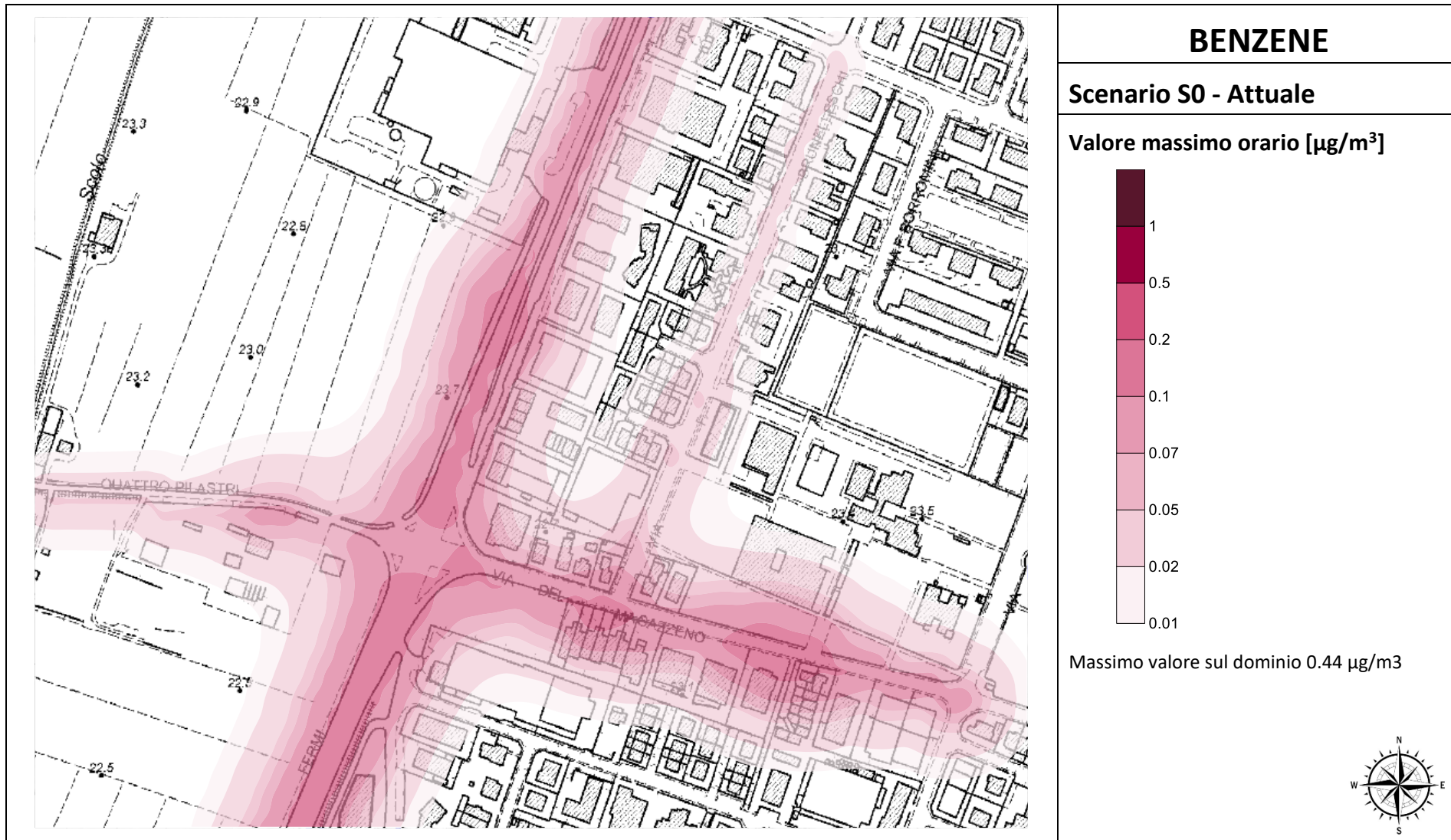
Mappa di isoconcentrazione del valore massimo orario per NOX - TRAFFICO INDOTTO SCENARIO S1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



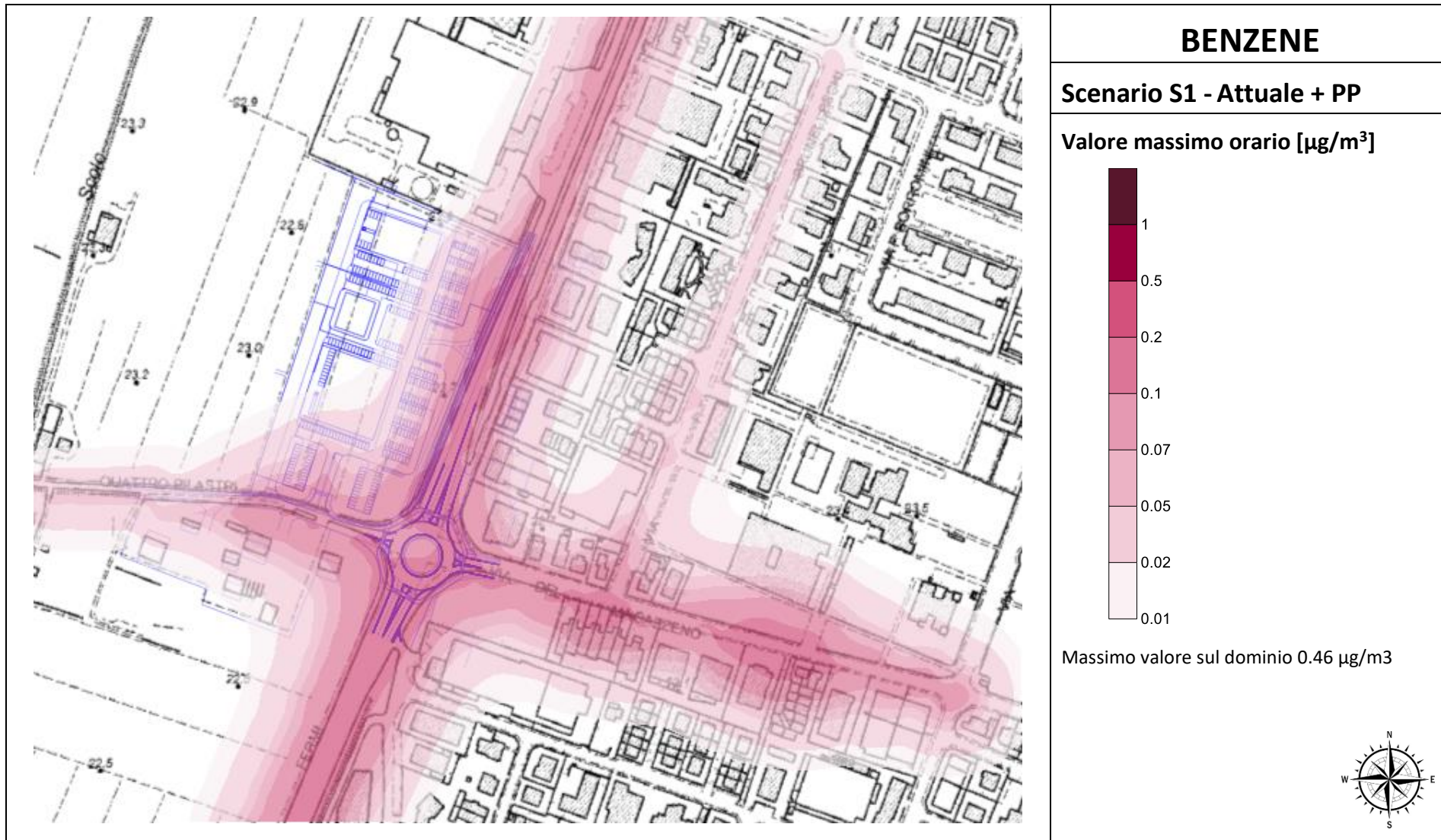
Mappa di isoconcentrazione del valore massimo orario per CO - TRAFFICO INDOTTO SCENARIO S0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Mappa di isoconcentrazione del valore massimo orario per CO - TRAFFICO INDOTTO SCENARIO S1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Mappa di isoconcentrazione del valore massimo orario per BENZENE - TRAFFICO INDOTTO SCENARIO S0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Mappa di isoconcentrazione del valore massimo orario per BENZENE - TRAFFICO INDOTTO SCENARIO S1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

8 Conclusioni

La presente nota tecnica ha sviluppato la valutazione del potenziale impatto sulla qualità dell'aria delle emissioni gas e polveri da traffico indotto dall'attuazione della Variante Urbanistica e contestuale PP che interessa il comparto F14, previsto dal vigente PRG della città di Carpi (MO), posto tra via Quattro Pilastri e la tangenziale Bruno Losi.

Sono stati presi a riferimento 2 *scenari*:

- attuale,
- di progetto, ossia considerando l'attuazione del PP in proposta.

I valori di concentrazione, come dimostrato dalle simulazioni nel presente documento descritte, per tutti gli scenari, si concentrano in prossimità degli archi viari considerati.

L'analisi, condotta tramite simulazione con CALINE, ha mostrato come *la previsione del PP, in Variante al PRG, avrà un'influenza ridotta sulla viabilità locale, anche considerando i momenti più critici della giornata.*

L'apporto di veicoli generati dalla struttura, sia pesanti che leggeri, infatti non è tale da alterare la qualità dell'aria rispetto allo stato attuale.