



COMUNE DI PIETRASANTA

VARIANTE CONTESTUALE AL PIANO STRUTTURALE E REGOLAMENTO URBANISTICO A SEGUITO DEGLI ACCORDI EX. ART. 11 DELLA L. 241/90 TRA IL COMUNE DI PIETRASANTA E UNICOOP TIRRENO S.C. - CONAD



Stima dell'impatto sulla qualità dell'aria

Estensore:

Ing. Carlo Grassi

Ordine degli Ingegneri della
Provincia di Pisa n° 1823

Collaboratori:

Ing. Silvia Verrilli

Ordine degli Ingegneri della
Provincia di Pisa n° 3225

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. STATO ATTUALE della QUALITA' dell'ARIA	4
2.1. Limiti normativi	4
2.2. Stazioni di monitoraggio e inquinanti monitorati.....	5
Biossido di azoto (NO ₂).....	6
Particolato (PM ₁₀ e PM _{2,5})	6
Conclusioni	7
3. EMISSIONI da TRAFFICO	8
3.1. Fattori di Emissione.....	8
4. Modellistica Numerica.....	8
4.1. Approccio metodologico.....	8
4.2. Applicazione del codice CALINE	10
5. RISULTATI.....	13
6. CONSIDERAZIONI COCLUSIVE	18
7. Allegati.....	19
7.1. Il codice CALINE.....	19

1. PREMESSA

Il presente studio stima gli effetti indotti sulla circolazione stradale dovuto alla ristrutturazione e/o ampliamento e/o nuova realizzazione di due strutture di vendita della G.D.O a Pietrasanta calcolando le emissioni di gas e polveri derivanti dal transito degli autoveicoli e dei mezzi leggeri e pesanti e stimandone l'impatto sulla qualità dell'aria.

Lo studio si articola nel seguente schema:

- analisi dello stato attuale della qualità dell'aria dell'area di studio;
- la stima delle emissioni utilizzando fattori di emissione disponibili (ISPRA);
- stima del potenziale impatto sulla qualità dell'aria degli scenari allo studio per gas e polveri.

I veicoli presi in considerazione sono autoveicoli, veicoli leggeri ed i mezzi pesanti.

2. STATO ATTUALE della QUALITA' dell'ARIA

2.1. Limiti normativi

Il D.Lgs.155/2010 abroga di fatto tutto il corpus normativo precedentemente vigente sulla qualità dell'aria, costituendo a tutti gli effetti un testo unico sulla qualità dell'aria ambiente che va a fissare i valori limite della concentrazione di inquinanti secondo quanto riportato in tabella.

È opportuno evidenziare che il quadro legislativo italiano non risulta perfettamente congruente con quello europeo, in cui assieme alla Direttiva 2008/50/CE, rimane in vigore anche la Direttiva 2004/107/CE su metalli e idrocarburi policiclici aromatici, il cui recepimento italiano (D.Lgs.152/2007) viene invece assorbito dal D.Lgs.155/2010.

Tabella 5 Limiti normativi per la valutazione della Qualità dell'Aria secondo D.Lgs. 155/2010

Limiti normativi per la valutazione della Qualità dell'Aria secondo D.Lgs. 155/2010			
Biossido di azoto NO₂	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 O₃	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 SO₂	Valore limite orario	Numero di superamenti Media oraria (max 24 volte in un anno)	350 µg/ m ³

Limiti normativi per la valutazione della Qualità dell'Aria secondo D.Lgs. 155/2010			
	Valore giornaliero	limite	Numero di superamenti Media giornaliera (max 3 125 µg/ m3 volte in un anno)
	Soglia di Allarme		Numero di superamenti Media oraria (3 ore 500 µg/ m3 consecutive)
Particolato Atmosferico	Valore giornaliero	limite	Numero di superamenti Media giornaliera (max 35 volte in un anno) 50 µg/ m3
PM₁₀	Valore limite annuale		Media annua 40 µg/ m3
Particolato Atmosferico	Valore limite annuale		Media annua 25 µg/ m3
PM_{2,5}			
Benzene	Valore limite annuale		Media annua 5 µg/ m3
C₆H₆			
IPA	Valore obiettivo		Media annua 1 ng/ m3
come Benzo(a)pirene			
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

2.2. Stazioni di monitoraggio e inquinanti monitorati

Per la caratterizzazione della qualità dell'aria relativa all'area di studio comprende il comune di Pietrasanta. La caratterizzazione della qualità dell'aria è stata effettuata facendo riferimento ai risultati riportati nei rapporti annuali redatti da ARPAT relativamente agli ultimi anni (**2015-2018**), risultati che si basano sull'analisi dei dati registrati dalle centraline appartenenti alla Rete Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria.

In particolare, per questo studio è stata selezionata la stazione di misura della rete regionale pubblica denominata **Lucca-Viareggio**, tipologia "urbana di fondo". Si noti che per gli anni dal 2015 al 2018 la dotazione strumentale presente ed attiva nella stazione considerata ha consentito la misurazione dei soli inquinanti PM₁₀ PM_{2,5} e NO₂.

Nell'ambito della presente analisi, sono state effettuate per ciascun inquinante le elaborazioni degli indicatori fissati allo scopo di mostrare poi il confronto con i limiti di riferimento stabiliti dalla normativa europea (recepiti con il citato D.Lgs. n° 155/2010).

Ai fini dell'elaborazione degli indicatori da confrontare con i valori limite previsti dalla normativa, si considerano le serie di dati raccolti per ogni inquinante monitorato mediante **la stazione fissa di Lucca - Viareggio**, con rappresentatività annuale o assimilabile ad essa. L'analisi viene condotta, ove possibile in virtù della disponibilità dei dati, sugli **anni dal 2015 al 2018**.

Nei paragrafi seguenti si riporta la descrizione dell'andamento degli inquinanti monitorati (PM₁₀, PM_{2,5} e NO₂), soffermandosi sul confronto tra il livello attuale e quello storicamente misurato e sul confronto dei valori misurati con il valore limite previsto per lo specifico inquinante dalla normativa vigente.

Biossido di azoto (NO₂)

Si riporta in figura il grafico con i valori storici delle concentrazioni medie annuali, per la stazione di Lucca - Viareggio.

A partire dall'andamento delle media annuale non si può individuare una tendenza specifica: nel 2015 si è registrato un aumento della concentrazione media annuale (+ 19% circa) seguito, nel 2016, da una nuova diminuzione della stessa (- 10% circa) fino ad un assestamento nel 2017 su un valore costante di 28 µg/m³ e una diminuzione a 24 µg/m³ per l'anno 2018.

Per quanto riguarda i limiti di riferimento, come si riporta in tabella, negli ultimi 5 anni, non si riscontrano superamenti del limite orario né del limite fissato per la media annuale.

Tabella 1 NO₂ - Confronto con i limiti di riferimento normativi

	Anno	N° medie orarie >200 µg/m ³ (V.L. 18)	Media annuale (V.L. 40 µg/m ³)
Lucca – Viareggio (UF)	2014	0	26
	2015	0	31
	2016	0	28
	2017	0	28
	2018	0	24

Particolato (PM₁₀ e PM_{2,5})

Di seguito si riporta l'analisi della qualità dell'aria nell'area di Pietrasanta che come citato nel Piano Regionale deve far riferimento alla stazione di Viareggio per quanto riguarda l'inquinamento da PM₁₀. Il grafico in figura riporta l'andamento delle concentrazioni medie annuali nell'area in esame. Si può notare una progressiva diminuzione delle medie annuali, dati che confermano il trend decrescente dei valori di PM₁₀ osservato a partire dall'anno 2014.

Analizzando i dati in riferimento ai limiti normativi, si evidenzia una diminuzione del numero di giorni di superamento del limite sulla media giornaliera, sebbene non sia riscontrabile un trend preciso.

Nel 2015 si è registrato un numero dei giorni di superamento (passando da 11 giorni nel 2014 a 26 giorni nel 2015), anche se tale numero è rimasto comunque contenuto e sotto il valore limite di 35 giorni. Negli anni successivi il numero di superamenti è diminuito significativamente ed è pari a 6 giorni nel 2018.

Tabella 2 PM₁₀ - Confronto con i limiti di riferimento normativi

	Anno	N° medie giornaliere >50 µg/m ³ (V.L. 35)	Media annuale (V.L. 40 µg/m ³)
Lucca – Viareggio (UF)	2014	11	24
	2015	26	27
	2016	25	26
	2017	21	26
	2018	6	22

Nella stazione di Lucca – Viareggio, la misura del particolato PM_{2,5} è stata attivata solamente nell'anno 2014. Si riportano comunque in tabella i risultati delle misurazioni relative agli anni 2014-2018 che evidenziano valori inferiori al limite senza un evidente trend.

Tabella 3 PM_{2,5} - Confronto con i limiti di riferimento normativi

	Anno	Media annuale (V.L. 25 µg/m ³)	% PM _{2,5} / PM ₁₀
Lucca – Viareggio (UF)	2014	14	58
	2015	18	67
	2016	16	62
	2017	16	62
	2018	14	64

Conclusioni

Prendendo in esame l'area di Viareggio, è stato possibile reperire i dati relativi alla misurazione dei soli inquinanti PM₁₀ e NO₂. Dall'analisi di qualità dell'aria ad essi relativa è possibile trarre le seguenti conclusioni:

Biossido di Azoto (NO₂): La situazione degli ultimi anni non presenta criticità in quanto non sono mai avvenuti superamenti dei limiti, né per quel che riguarda la media annua né per la media oraria, e si nota una tendenza alla diminuzione.

Particolato (PM₁₀): Si osserva un progressivo decremento delle concentrazioni per le medie annuali, che sono risultate sempre al di sotto del valore limite. Il superamento della media giornaliera si è

verificato per un numero di giornate prossimo ma sempre inferiore al limite previsto dalla normativa.

Particolato (PM_{2,5}): i dati misurati dal 2014 al 2018 mostrano una situazione costante e inferiore ai valori limite di media annuale imposti dalla normativa.

3. EMISSIONI da TRAFFICO

In questo paragrafo si discutono le valutazioni necessarie alla stima delle emissioni da traffico delle arterie stradali prese in considerazione dallo studio trasportistico per i vari scenari considerati.

3.1. Fattori di Emissione

Dalla consultazione della banca dati di ISPRA¹ relativa ai fattori di emissione da traffico si sono desunte le tabelle seguenti utilizzate poi per il calcolo delle emissioni per ogni strada considerata nello studio.

Tabella 4 fattori di emissione per tipo di classe di veicolo e parametro di qualità dell'aria
[<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp>]

Settore	NOx 2017 g/veic*km	Benzene 2017 g/veic*km	PM10 2017 g/veic*km
Passenger Cars	0.404700	0.002500	0.033800
Light Duty Vehicles	1.071100	0.001200	0.072900
Heavy Duty Trucks	4.297400	0.000100	0.186100
Motorcycles	0.164400	0.010400	0.028800

4. Modellistica Numerica

In questo paragrafo si descrivono la metodologia ed i risultati ottenuti dall'applicazione del codice di dispersione selezionato per la valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria delle emissioni derivanti dal traffico sulle arterie stradali nell'ambito degli scenari allo studio di traffico nell'area di Pietrasanta (LU) nelle arterie stradali influenzate dalla GDO presente e/o in adeguamento.

4.1. Approccio metodologico

Per stimare le ricadute degli inquinanti derivanti dal traffico in ambito urbano degli inquinanti primari l'agenzia UDS-EPA raccomanda la versione del modello CALINE², 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

¹ L'anno di riferimento è il 2017, 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 5.1.1 (aggiornamenti descritti al link <http://www.emisia.com/utilities/copert/versions/>).

² Caltrans (1989) CALINE4 – A Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Concentrations Near Roadways, Final Report prepared by the Caltrans Division of New Technology and Research (report No. FHWA/CA/TL-84/15).

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, sufficientemente estesa per comprendere un dominio di calcolo comprende il percorso urbano dei tratti di strade studiati nello studio trasportistico.
2. Acquisizione ed elaborazione delle informazioni relative alle emissioni dei traffico.
 - a. Sono elaborati i dati di emissione per il calcolo dei fattori di emissione di auto e camion sia utilizzando i fattori di emissione dell'inventario nazionale di ISRPA.
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.
 - b. Le simulazioni forniscono come risultati le concentrazioni sul dominio di calcolo selezionato.
4. Risultati
 - a. I risultati delle simulazioni sono rappresentati in forma di tabelle per i recettori individuati e confrontati con i valori limite di qualità dell'aria e saranno realizzate mappe di isoconcentrazione su griglia cartesiana per il dominio di calcolo.

4.2. Applicazione del codice CALINE

L'applicazione del codice di calcolo CALINE IV ha necessitato della descrizione georeferenziata del dominio di calcolo e dei tragitti stradale, descritti internamente all'ambito urbano. Come desunto dalla relazione specialistica sul traffico è stato caratterizzato il transito di mezzi leggeri e pesanti per gli scenari considerati e di seguito riportati in tabella seguente adattata dalla relazione specialistica sul traffico.

Tabella 5 dati di traffico per lo studio.

Quadrante	Strada accesso al centro commerciale	Vol. V totale rilevato ora punta ANTE OPERAM (auto/h)	DV totale ora punta (auto/h)	Vol. V totale rilevato ora punta (auto/h) POST OPERAM
NW	v.la Apua	963	27	990
NW	Via I Maggio	904	27	931
SW	SS1 Aurelia Sud	912	10	922
SE	SR 439 Sarzanese	962	11	973
NE	SS1 Aurelia Nord	1656	116	1772

Lo studio è stato sviluppato considerando i dati dell'ora di punta così come descritti nello studio del traffico. Nelle seguenti immagini gli scenari di traffico considerati come dati di input al modello.

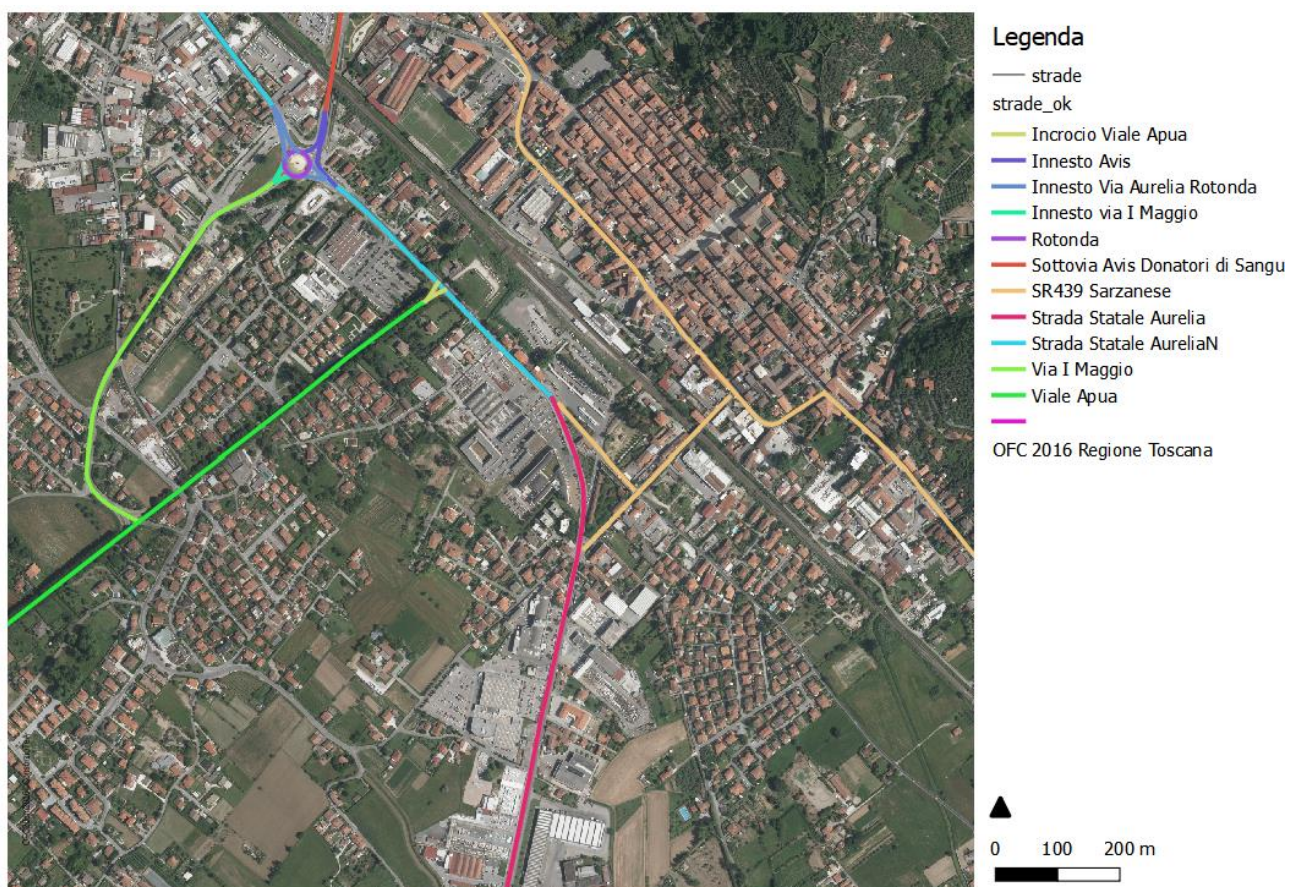


Figura 1 identificazione delle strade oggetto delle valutazioni (estratto dallo studio trasportistico).

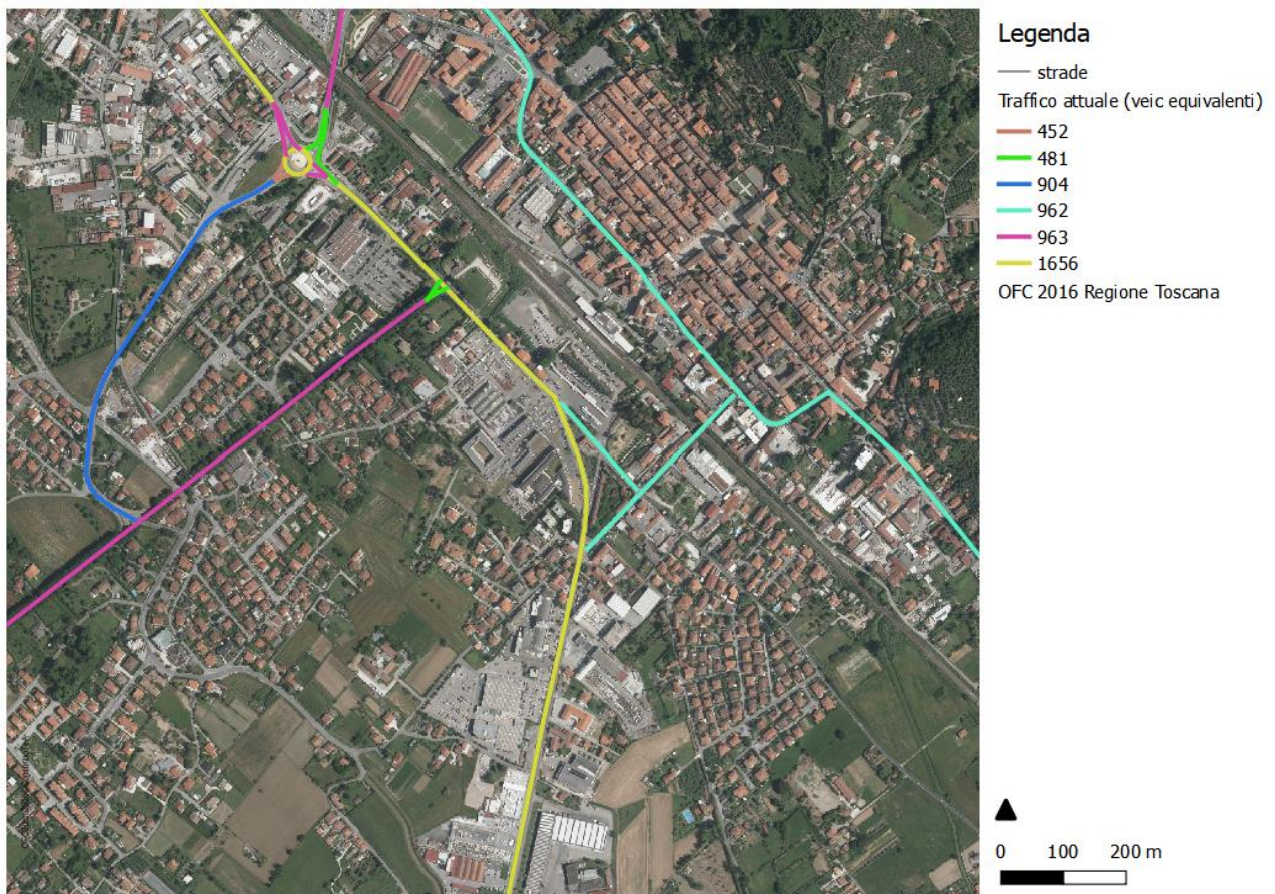


Figura 1 traffico di veicoli equivalenti per lo STATO ATTUALE (dati monitoraggi in campo)

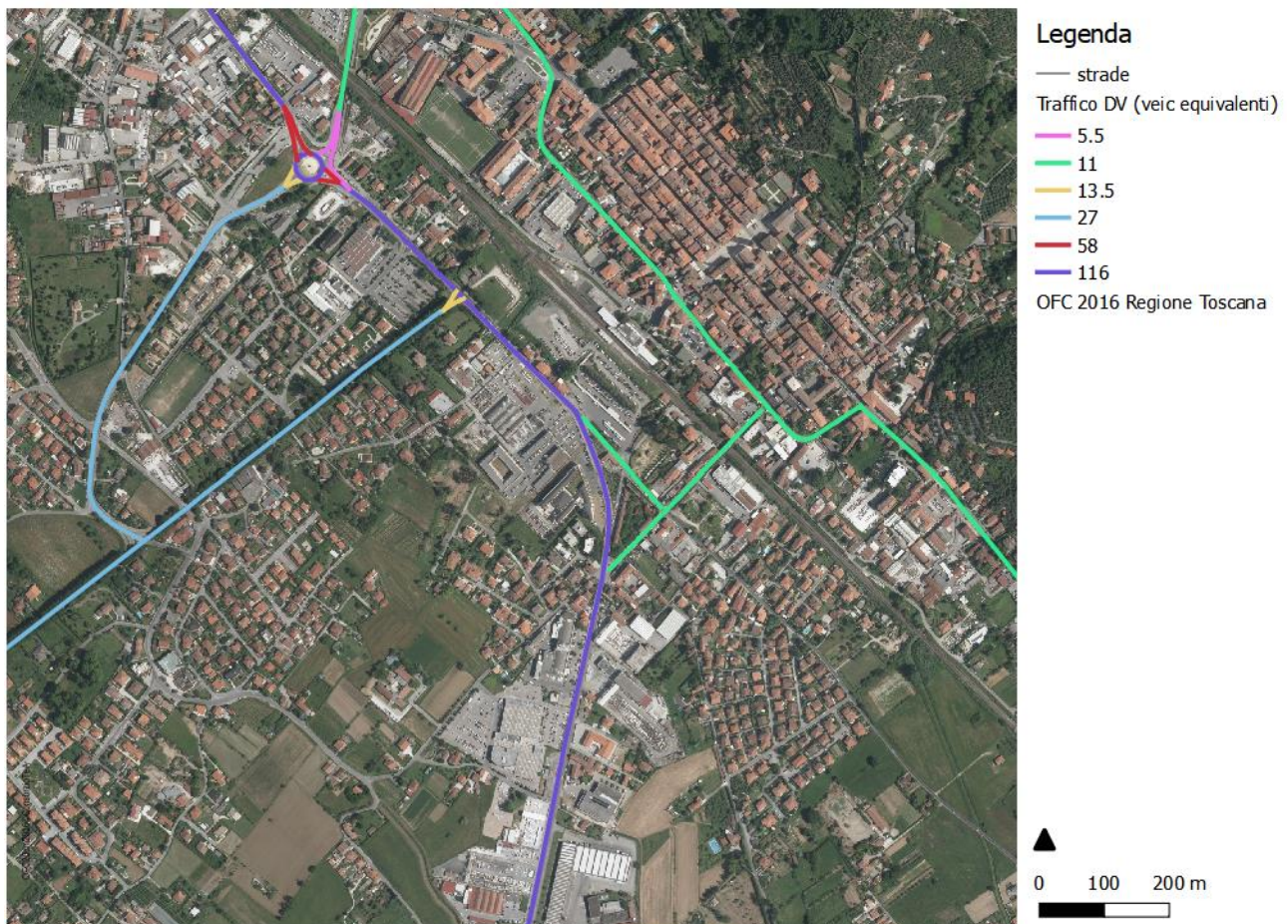


Figura 2 traffico di veicoli equivalenti per la variazione tra stato di progetto e stato attuale

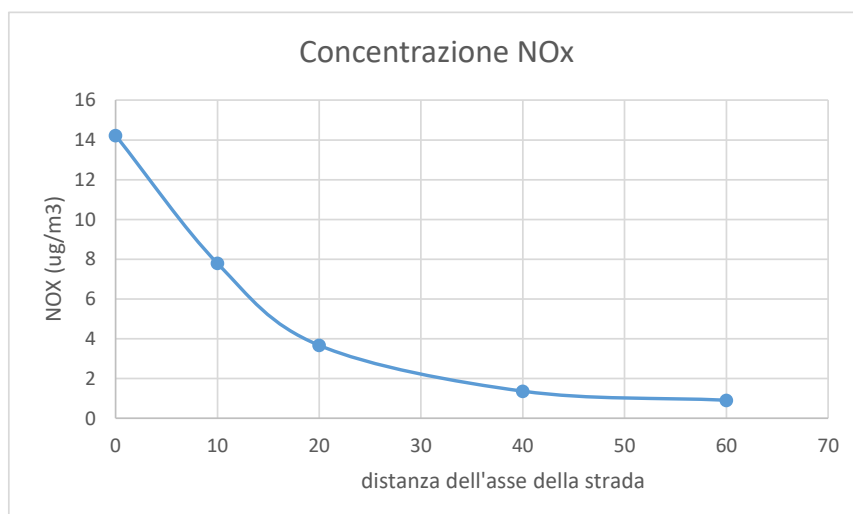
L'applicazione del codice di calcolo CALINE IV ha necessitato della descrizione georeferenziata del dominio di calcolo e del tragitto stradale, descritto internamente all'ambito urbano, ed i dati di traffico desunti dalla relazione specialistica sul traffico. Ognuno dei tratti di strada allo studio è stato caratterizzato in base alle dimensioni, alla lunghezza ed all'altezza degli edifici che lo caratterizzano.

Per quanto riguarda le polveri PM10 nell'applicazione modellistica si è integrato il fattore di emissione calcolato sulla base dei gas di scarico con quello dovuto al sollevamento della polvere dalla strada percorsa che è stato stimato pari a 4.62 gr/km * veicolo, determinando quindi un fattore di emissione totale pari a 4.99 gr/km * veicolo.

A titolo di esempio nel grafico seguente si mostrano i risultati del modello CALINE applicato ad una delle strade oggetto dello studio con le caratteristiche in tabella.

Strada	Larghezza corsie	Flusso eq ATTUALE	Altezza edifici
V.le Apua	3.5 m	963	3-7 metri (non continui)
Via I maggio	3.5 m	904	assenti
SS1 Aurelia Sud	4.0 m	912	3-7 metri (non continui)
SR439 Sarzanese	3.0 m	962	8-12
SS1 Aurelia Nord	4.0 m	1656	3-7 metri (non continui)

I risultati della simulazione per un traffico di veicoli equivalenti di 500 all'ora hanno permesso di calcolare il seguente profilo di concentrazione tra il centro della carreggiata ed una distanza dall'asse pari a 10, 20, 40 e 60 metri.



I risultati dell'applicazione del modello sono di seguito riportati in termini di valori di concentrazione massima oraria stimata nel dominio di studio.

5. RISULTATI

L'applicazione del codice CALINE 4 come descritto in precedenza ha permesso di realizzare mappe di concentrazione del massimo valore orario (worst case option) che è stato valutato dal modello considerando una temperatura dell'aria pari a 20 C, ed una velocità del vento pari a 1 m/s.

Nelle seguenti tavole i risultati per il parametro NOx espresso in concentrazione $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per gli altri inquinanti si è proceduto alla creazione delle mappe e successivamente a valutare, in forma tabellare, l'impatto sulla qualità dell'aria degli altri parametri significativi per il traffico quali Benzene e PM10.

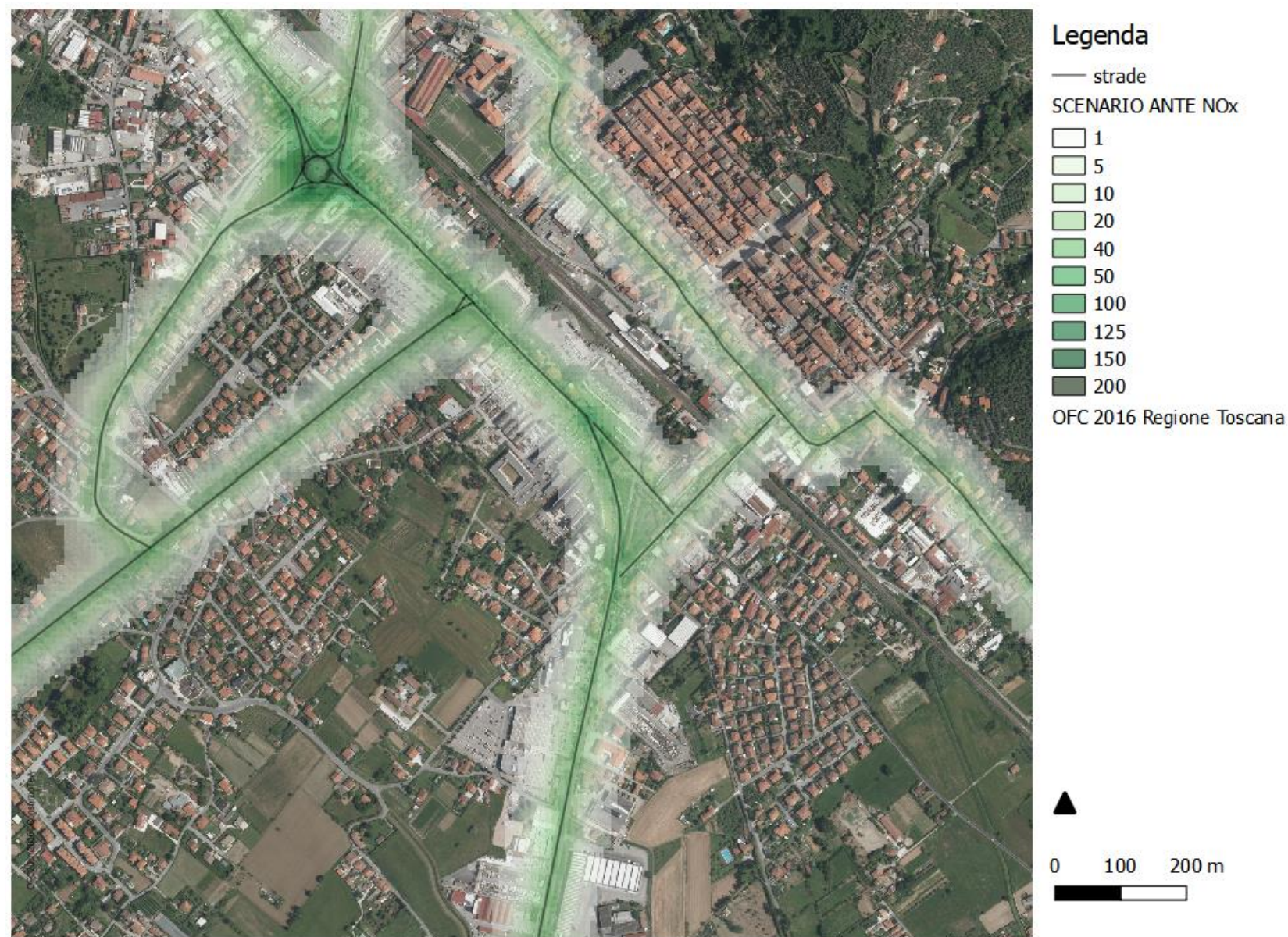


Figura 3 concentrazione massima oraria di NO_x [µg/m³] per l'ora di punta per lo scenario ATTUALE con traffico valutato al 2018.

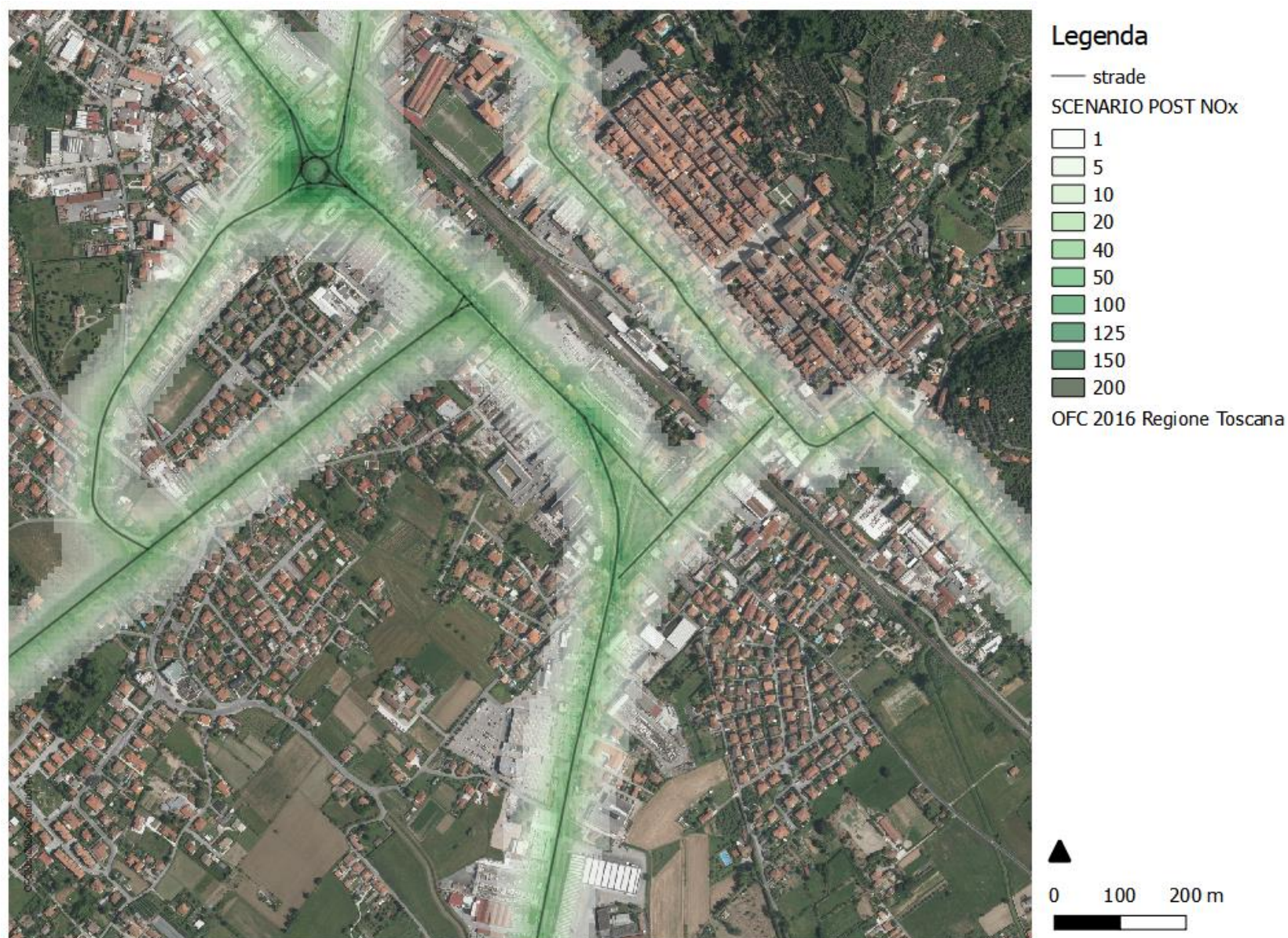


Figura 4 concentrazione massima oraria di NOx [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] per l'ora di punta per lo scenario PROGETTO con traffico valutato al 2018.

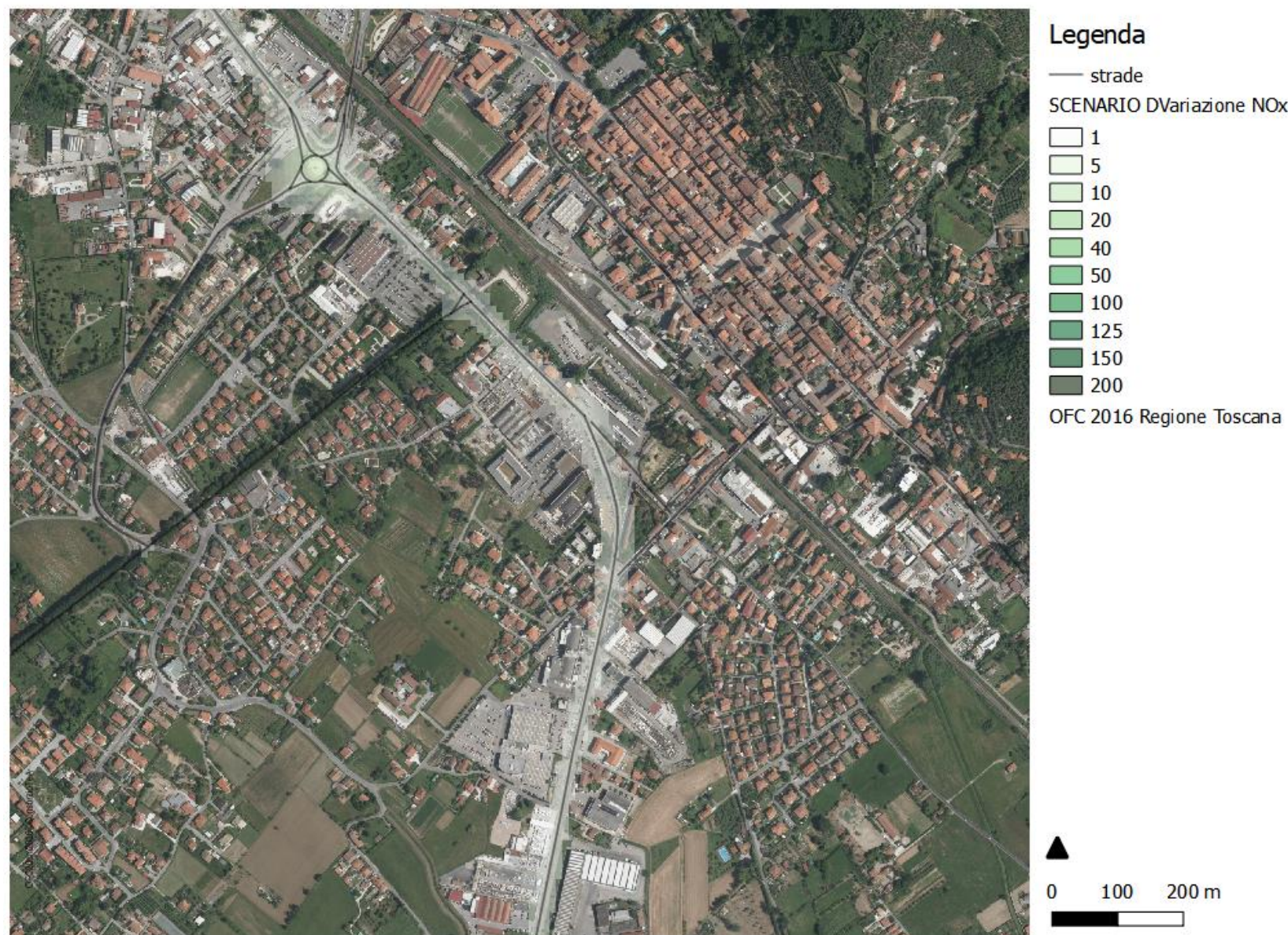
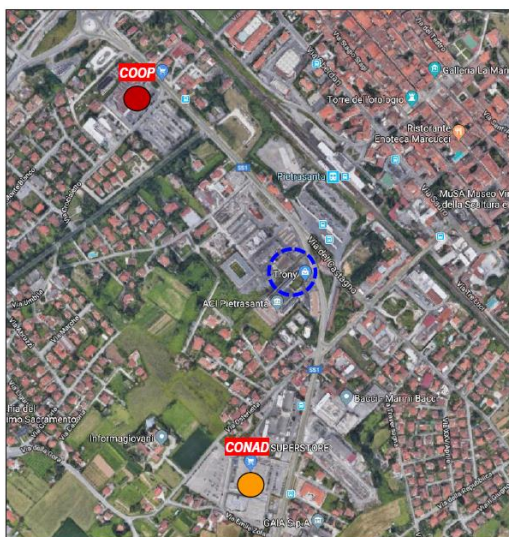


Figura 5 concentrazione massima oraria di NOx [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] per l'ora di punta per lo scenario variazione con traffico valutato al 2018.



Vista aerea della zona di Pietrasanta in fregio alla Via Aurelia, con indicata l'ubicazione delle due strutture commerciali della GDO (Coop e Conad) interessate dai progetti di sviluppo e/o ampliamento.

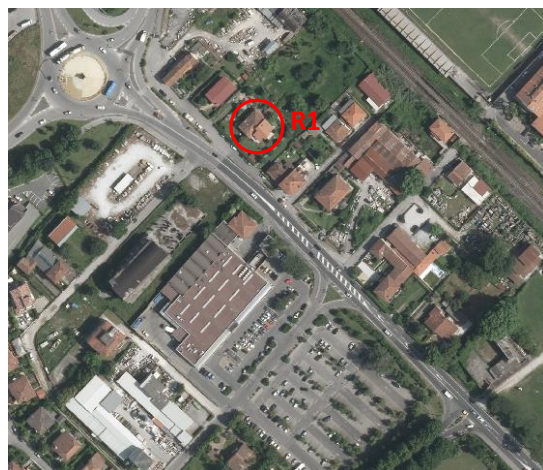


Tabella 6 Massimo valore delle concentrazioni medie orarie stimate da CALINE all'interno dell'area buffer di 30 m escludendo la resede stradale.

R1	NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ATTUALE	23.39	0.14449	0.01207
PROGETTO	24.88	0.15369	0.01284
VARIAZIONE	1.49	0.0092	0.00077
R2	NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ATTUALE	5.24	0.03237	0.0027
PROGETTO	5.61	0.03466	0.00289
VARIAZIONE	0.37	0.00229	0.00019
	NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Valore limite QA 155/2010 e smi	200	5	50

6. CONSIDERAZIONI COCLUSIVE

La presente nota descrivo lo stato della qualità dell'aria per il Comune di Viareggio che costituisce l'ambito di riferimento per l'ambito amministrativo, comune di Pietrasanta, nel quali si configura il progetto di adeguamento dalle attività della GDO in merito al traffico indotto.

Per valutare gli effetti delle modifiche ai flussi di traffico ed ai relativi impatti sulla qualità dell'aria, sono stati simulati due scenari, uno attuale ed uno di progetto che prendono a riferimento le previsioni di variazione del traffico sulle principali arterie stradali prossime alle installazioni della GDO a Pietrasanta.

Si è proceduto alla valutazione dei fattori di emissione da banca dati nazionale di ISPRA – INVENTARIA per la stima delle emissioni di gas e polveri e si è poi proceduto alla valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria tramite l'applicazione del codice di dispersione CALINE 4.

I risultati hanno permesso di stimare l'impatto sulla qualità dell'aria, nei recettori prossimi alla viabilità impattata dal progetto di adeguamento, per il territorio urbano interno al dominio di calcolo.

Non sono rilevabili significative modificazioni della qualità dell'aria in relazione al progetto di modifica del traffico veicolare da e per i centri della GDO.

7. Allegati

7.1. Il codice CALINE

Il modello "CALINE3 is a 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.

Sorgenti lineari:

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 articolato ed NO₂, originate dalle emissioni degli autoveicoli.

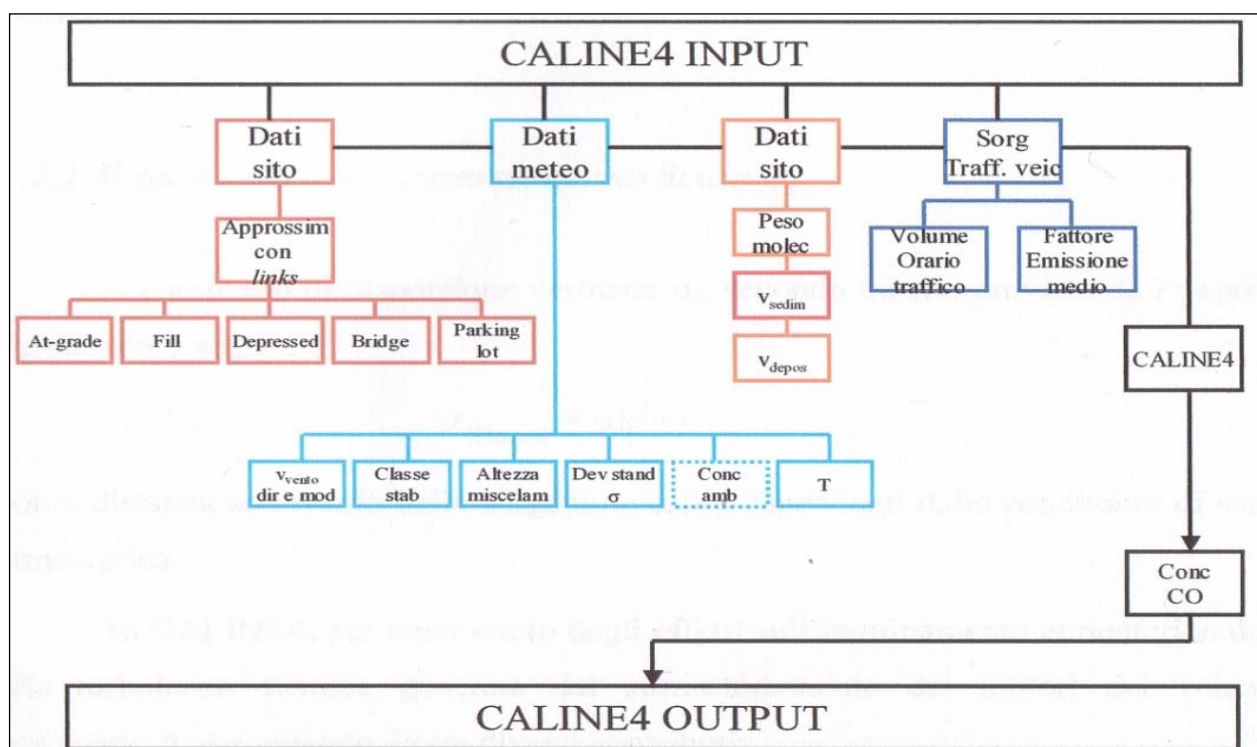


Fig.A1 Schema a blocchi INPUT/OUTPUT del codice CALINE4.

Descrizione del modello

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 è 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.

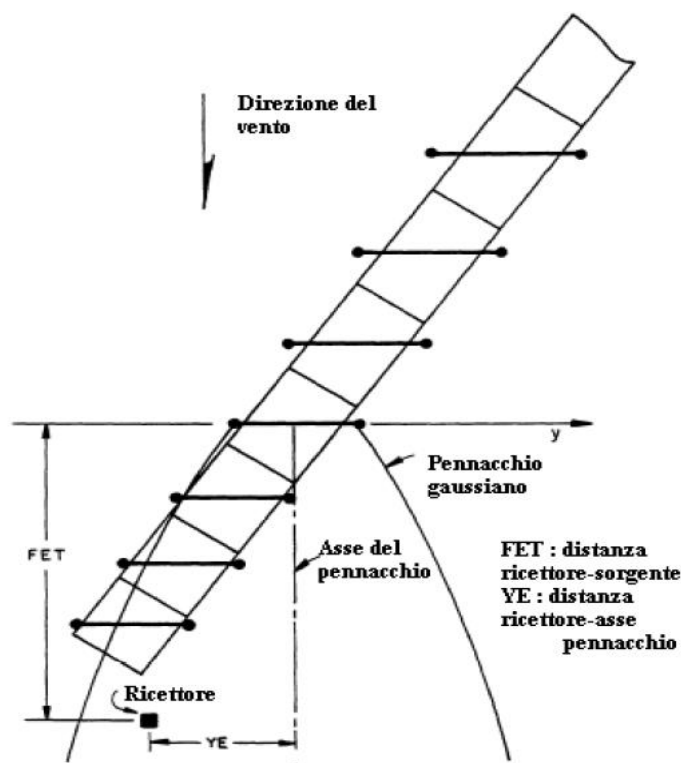


Fig. A2 Schematizzazione della sorgente in CL4.

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.

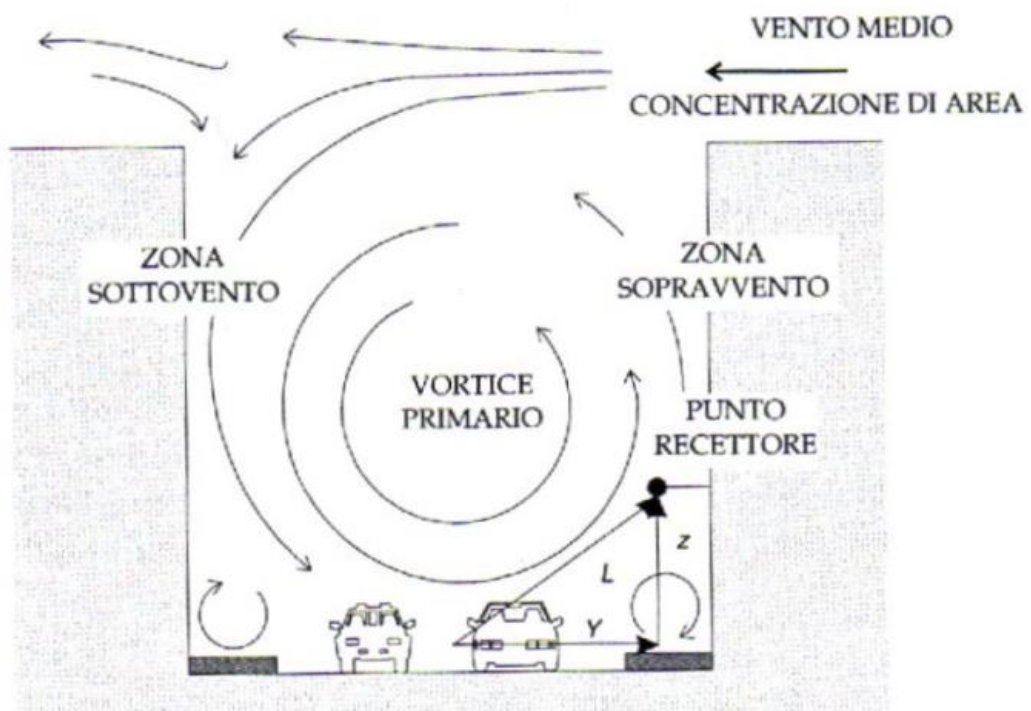


Fig. A3 Caratteristiche geometriche e di circolazione dell'aria in un canyon urbano.

Equazione per il calcolo della concentrazione

Sono impiegati 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:

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

Dove:

- dC : incremento della concentrazione (ppm)
- dQ : emissione sul tratto infinitesimo (mg/s)
- u : velocità del vento all'altezza H (m/s)
- H : altezza della sorgente (m)
- σ_y, σ_z : parametro di dispersione orizzontale e verticale rispettivamente (m)

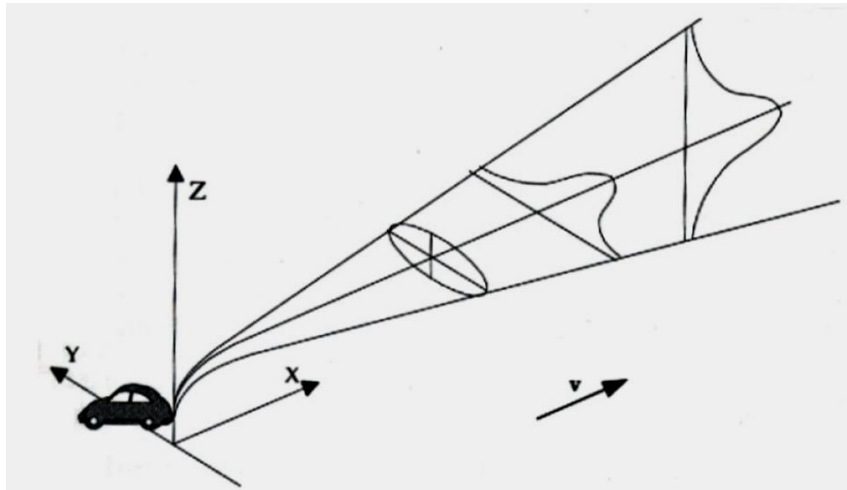


Fig. A4 Schema della dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento

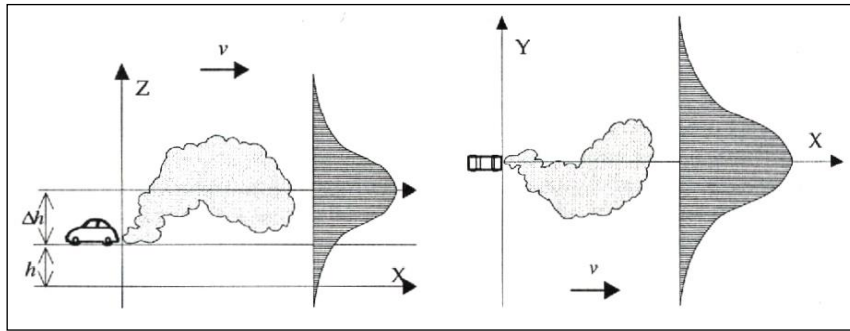


Fig. A5 Vista dei piani (x,z) e (x,y) dello schema di dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento.

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.

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 $T' \propto t_L$

Meteorologia:

I dati meteorologici richiesti dal modello per la simulazione dell'inquinamento atmosferico sono:

- *velocità del vento* (modulo e direzione) misurata a 10 m di quota;
- *classe di stabilità atmosferica*;
- *altezza di mescolamento*;
- *deviazione standard della direzione del vento* ("sbandieramento");
- *temperatura dell'aria*.

Non tutti i dati richiesti dal codice sono acquisibili direttamente dalle stazioni meteorologiche: pertanto è stato necessario ricorrere alla letteratura per ricavare alcuni di essi, come l'altezza di mescolamento, classe di stabilità atmosferica e lo sbandieramento.

Altezza di miscelamento:

CL4 considera la zona *di mescolamento*, posizionata direttamente sopra le carreggiate, come una regione con turbolenza ed emissioni uniformi. Poiché la centralina di rilevamento della qualità dell'aria situata a Porcari non fornisce informazioni relative a questo parametro per poterlo calcolare sperimentalmente è stata utilizzata la seguente formula [6], la cui validità è limitata ad altezze comprese tra 5-1000m:

$$H_{mix} = 0.185 * k * v / [LN(z/z_0) * f]$$

Dove:

k= costante di Von Barman (0.35)

v= velocità del vento (m/s)

z= altezza alla quale viene misurata v (10 m)

z₀= rugosità superficiale (m)

f= parametro di Coriolis, dato da: $1.45 * 10^{-4} * \cos \theta$

$\theta = 90^\circ$ – latitudine del sito (43°)

Classe di stabilità atmosferica:

Le classi di stabilità atmosferica, indici del grado di turbolenza presente nei bassi strati, sono state definite da *Pasquill* e denotate con le lettere da A a G. La turbolenza decresce dalla classe A (stratificazione molto instabile), attraverso la D (condizioni neutre), fino alla F+G (stratificazione molto stabile). I metodi comunemente utilizzati per classificare la stabilità atmosferica sono basati sull'esistenza di relazioni empiriche che legano la turbolenza a parametri meteorologici facilmente

acquisibili dalle stazioni meteorologiche (velocità del vento, radiazione solare, copertura nuvolosa, sbandieramento..). Nel caso in esame, le condizioni di stabilità assunte a riferimento sono costituite dai valori ottenuti applicando la tabella sottostante, che permette di ottenerne una stima in funzione della radiazione solare incidente (giorno) o netta (notte), nota l'intensità della velocità del vento.

Tab. 7.1-1 Corrispondenze tra categorie di Pasquill, intensità di vento a 10m e radiazione solare.

Radiazione (W/m ²)			Velocità del Vento (m/s)					
			<2	2-3	3-4	4-5	5-6	>6
GIORNO	Radiazione Solare Incidente	>=700	A	A	B	B	C	C
		700_540	A	B	B	B	C	C
		540_400	B	B	B	C	C	D
		400_270	B	B	C	C	C	D
		270_140	C	C	C	D	D	D
		<=140	D	D	D	D	D	D
NOTTE	Radiazione Netta	>=-20	D	D	D	D	D	D
		-20_-40	D	E	D	D	D	D
		<-40	D	F	E	E	D	E

Sbandieramento:

Il valore della deviazione standard della direzione del vento σ_θ è generalmente fornito dalle stazioni meteorologiche, tuttavia nel caso di Porcari, è stato possibile ottenerne una stima basata sul valore dello sbandieramento combinato con la classe di stabilità atmosferica:

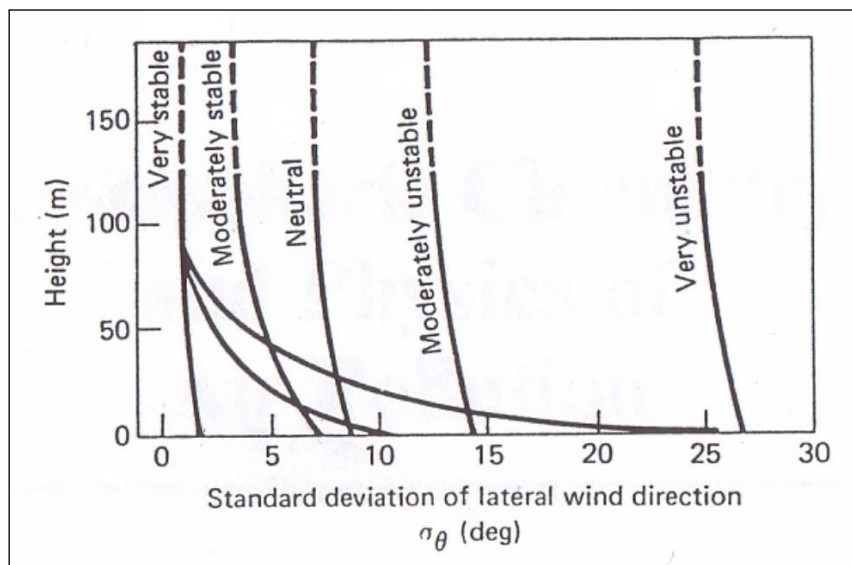


Fig. A6 Variazione verticale dello sbandieramento in funzione della stabilità atmosferica.

Gli inquinanti:

I dati di input richiesti dal modello per l'identificazione dell'inquinante da studiare sono il suo *peso molecolare*, la *velocità di sedimentazione* e quella *di deposizione sul terreno*: parametri ritenuti trascurabili nel caso di inquinanti gassosi. Per quanto riguarda le emissioni, il modello CL4 non opera direttamente la loro valutazione è necessario fornire come dato di ingresso il fattore di emissione composito/medio, cioè basato su una determinata composizione del parco veicolare e di un particolare ciclo di guida secondo quanto richiesto dalla simulazione da svolgere.