

PNC – PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009–2016, Sub–misura A4, "Investimenti sulla rete stradale statale"

S.S. 685 "delle Tre Valli Umbre": rettifica del tracciato e adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500. Stralcio di completamento: dal km 41+500 al Km 45+700

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - SIPAL - TECNIC - GDG - ICARIA - AMBIENTE

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. F.Tamburini
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Firenze n° A6330

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Gianluca De Paolis
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1344

IL DEC

Dott. Arch. Lara Eusanio
Ordine degli Architetti P.P.C. della Prov. di L'Aquila n° 859

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott.Ing. N.Granieri
Dott.Ing. V.Truffini
Dott.Ing. T.Berti Nulli
Dott.Arch. A.Bracchini
Dott.Ing. L.Nani
Dott.Ing. E.Bartolucci
Dott.Ing. L.Casavecchia
Dott.Geol. G.Cerquiglini
Dott.Ing. F.Durastanti
Dott.Ing. M.Abram
Dott.Arch. C.Presciutti
Dott. Agr. F.Berti Nulli
Geom. L.Pacioselli

MANDANTI:



Dott. Ing. A. Dipierro
Dott. Ing. S.Terreno
Dott. Ing. A.Comparato



Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. C.Consorti
Dott. Ing. S.Gervasio
Dott. Ing. S.Sacconi



Consulting Engineers
Prof. Ing. S.Canale
Dott. Ing. C.Sanna
Dott. Ing. C.Nardi
Dott. Ing. F.Volonnino
Dott. Ing. M.Schinco



società di ingegneria
Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. F.Macchioni
Dott. Ing. G.Pulli
Dott. Ing. V.Piunno



consulenza & ingegneria
esperienza per l'ambiente
Dott. Ing. F.Tamburini
Dott.Arch. J.Zaccagna
Dott.Agr. M.T. Colacresi



07.AMBIENTE 07.04 ANALISI AMBIENTALE - ARIA

Studio atmosferico

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00-IA04-AMB-RE01-A			
PG376	F 23	T00IA04AMBRE01		A	-
A	Emissione	Ott-23	N.Ambrosino	F.Tamburini	N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	5
2.1	PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI EUROPEI.....	5
2.2	PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI NAZIONALI.....	5
3	INQUADRAMENTO METEOROLOGICO.....	9
3.1	ANALISI METEOROLOGICA ATTUALE.....	9
4	ANALISI DELLO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA.....	12
4.1	LA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA	12
4.2	ANALISI DEGLI INQUINANTI MONITORATI.....	17
4.2.1	Ossidi e biossidi di azoto	17
4.2.2	Particolato.....	19
4.2.3	Monossido di carbonio.....	22
4.2.4	Benzene.....	23
4.2.5	Quadro sinottico della qualità dell'aria	24
4.3	INVENTARIO DELLE EMISSIONI	26
4.3.1	Emissioni a livello nazionale	26
4.3.2	Emissioni a livello regionale	29
4.4	CAMBIAMENTO CLIMATICO E GAS SERRA.....	31
4.4.1	Aspetti generali del fenomeno.....	31
4.4.2	Normativa e pianificazione di riferimento.....	33
4.4.3	Normativa a livello nazionale	35
4.4.4	Emissioni di gas serra	38
5	MODELLI DI CALCOLO PER LE SIMULAZIONI	41
5.1	CALPUFF MODEL SYSTEM.....	41

5.2	CALINE	41
6	DOMINIO DI CALCOLO E RECETTORI	47
6.1	DOMINIO DI CALCOLO	47
6.2	RECETTORI PUNTUALI	48
7	SCENARIO DI CANTIERE	49
7.1	STIMA DELLE EMISSIONI PER LA FASE DI CANTIERE	51
7.2	MODELLO DI CALCOLO PER LA FASE DI CANTIERE	56
7.3	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER LA FASE DI CANTIERE	57
7.4	BEST PRACTICE DA ADOTTARE DURANTE LA FASE DI CANTIERE	59
8	SCENARIO DI ESERCIZIO	60
8.1	LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI E LE ANALISI CONDOTTE	60
8.2	STIMA DELLE EMISSIONI	60
8.2.1	I fattori di emissione	65
8.2.2	Tracciato attuale e di progetto	66
8.3	MODELLO DI CALCOLO PER LA FASE DI ESERCIZIO	67
8.4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI FASE DI ESERCIZIO	69
8.4.1	Scenario attuale	69
8.4.2	Scenario futuro	70
8.4.3	Stima dell’impatto sulla qualità dell’aria	70
9	CONCLUSIONI	71
9.1	CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI ESERCIZIO	71
9.2	CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI CANTIERE	71

1 INTRODUZIONE

Il presente studio atmosferico, condotto nell’ambito della rettifica del tracciato e dell’adeguamento alla S.S. 685 “Delle Tre Valli Umbre” – Rettifica del tracciato e adeguamento alla sezione C2 del Km 41+500 al Km 51+500 Stralcio III – Lavori di adeguamento alla sezione C2 dal Km 41+500 al Km 45+650 ha come scopo quello di stimare le concentrazioni di inquinanti generate dall’esercizio del progetto in esame, nonché dalla realizzazione dello stesso, tenendo in considerazione tutte le attività di cantiere previste.

Relativamente alla fase di esercizio, l’obiettivo del presente documento è quello di valutare le modificazioni della qualità dell’aria sul territorio in esame, stimando le concentrazioni degli inquinanti in atmosfera prodotte dal traffico veicolare circolante sul tratto stradale di riferimento. Ciò che si vuole andare ad analizzare, pertanto, è l’incidenza del progetto in esame sulla qualità dell’aria, in modo da evidenziarne i benefici e/o gli aggravamenti in corrispondenza dei ricettori puntuali.

La metodologia utilizzata per la stima delle concentrazioni degli inquinanti ha visto l’analisi, in primo luogo, delle condizioni meteo climatiche dell’area interessata dall’intervento, nonché dello stato emissivo e diffusivo degli inquinanti di interesse presente nella zona in cui è prevista l’opera in esame.

Per quanto riguarda l’inquadramento meteo climatico dell’area, da un punto di vista storico, si è fatto riferimento ai dati forniti dall’Aeronautica Militare dalla stazione di Perugia. Per quanto riguarda, invece, i dati meteorologici utilizzati per le simulazioni modellistiche si è fatto riferimento a dati meteorologici dell’area di studio, relativi all’anno considerato come riferimento per le simulazioni, ricavati dal bollettino METAR, che rappresenta un messaggio di osservazione in superficie di tipo aeronautico che viene emesso ogni mezz’ora oppure ogni ora a seconda del servizio della stazione.

Per analizzare lo stato attuale delle emissioni di inquinanti, a livello nazionale si è fatto riferimento al documento “Italian Emission Inventory 1990-2020. Informative Inventory Report 2022”, realizzato dall’ISPRA dal quale è stato possibile delineare il quadro nazionale italiano delle emissioni in atmosfera per il periodo compreso tra il 1990 ed il 2020, suddivise per macro-attività, relativo agli inquinanti di interesse. Per la stessa analisi, a livello regionale sono stati analizzati i dati forniti dall’Inventario Regionale delle Emissioni in atmosfera realizzato da ARPA Umbria relativo al 2018 (ultimo anno disponibile).

Inoltre, facendo riferimento al “National Inventory Report 2022”, sono state analizzate le emissioni di gas serra, e in particolare di CO₂ generate a livello nazionale. A livello regionale sono stati analizzati i dati dell’Inventario Regionale delle Emissioni in atmosfera realizzato da ARPA Umbria relativo al 2018 (ultimo anno disponibile).

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

- Ossido di azoto (NO_x);
- Biossido di azoto (NO₂);
- Particolato PM₁₀;
- Particolato PM_{2,5};
- Monossido di carbonio (CO);
- Benzene (C₆H₆).

Al fine di caratterizzare al meglio la qualità dell’aria nella zona di intervento si è scelto di far riferimento alle centraline di qualità dell’aria della rete di monitoraggio regionale più vicine al progetto:

- la centralina di Spoleto – Madonna di Lugo caratterizzata come “suburbana industriale”, presso cui sono stati considerati i valori di PM10, PM2,5, NOx e NO2;
- la centralina di Spoleto – Piazza Vittoria, caratterizzata come di “fondo urbana, presso la quale sono stati considerati i valori di CO e C6H6 (non monitorati dalla precedente centralina).

In particolare, il dato di concentrazione media annua relativo all’anno 2022 per ciascun inquinante sopra elencato è stato preso in considerazione come valore di fondo per le simulazioni modellistiche condotte nel presente studio.

Una volta concluse le analisi conoscitive, si è proceduto all’applicazione dei modelli di simulazione, grazie ai quali è stato possibile stimare le concentrazioni di inquinanti con riferimento a differenti scenari di traffico veicolare. Nello specifico sono stati simulati i seguenti scenari:

- Scenario attuale;
- Scenario di progetto al 2036.

Per ogni scenario, attraverso l’utilizzo del software Copert 5, sono stati calcolati i fattori di emissione sul tratto stradale attuale e futuro, che sono funzione del parco veicolare circolante e della velocità media percorsa considerata. Implementando, quindi, tutti gli input necessari (meteo, traffico, velocità, fattore di emissione, ecc.) all’interno del software di simulazione Caline4 è stato possibile stimare i valori di concentrazione degli inquinanti di interesse.

Alla luce dei risultati ottenuti sono state fatte alcune considerazioni in merito alla modificazione della qualità dell’aria in prossimità dei ricettori puntuali. Per ogni ricettore, pertanto, dopo una prima verifica dei limiti normativi, sempre rispettati, non sono pertanto emerse criticità, in termini di concentrazioni, per lo scenario di progetto.

Per quanto riguarda la valutazione delle concentrazioni di inquinanti nell’atmosfera durante la fase di cantiere, invece, è stato utilizzato il software di simulazione modellistica CALPUFF attraverso il quale è stato possibile ricreare gli scenari di cantieri ritenuti più critici (Worst case scenario) e stimare le concentrazioni di inquinanti (PM10, PM2,5, NOx e NO2) generate dalle lavorazioni legate alla movimentazione del materiale, dai gas di scarico dei mezzi di cantiere e dai traffici di cantiere.

In particolare, è stato individuato uno scenario per cui sono state definite le sorgenti emmissive da modellare all’interno del software di simulazione e sono stati stimati i fattori di emissione relativi alla singola attività prevista con riferimento al documento US-EPA: AP-42 “Compilation of Air Pollutant Emission Factors”. Inoltre, per il calcolo delle emissioni dovute ai gas di scarico dei mezzi di cantiere, saranno considerati i fattori di emissione SCAB (South Coast Air Basin) Fleet Average Emission Factors (Diesel) aggiornati al 2021; e per il calcolo delle emissioni relative al traffico di cantiere, i fattori di emissioni forniti da ISPRA.

Alla luce di tali input progettuali, nonché degli input territoriali relativi all’orografia ed alle condizioni meteorologiche di riferimento, è stato possibile stimare le concentrazioni di PM10, PM2,5, NOx e NO2, per la fase di cantiere e verificare queste rispetto alle soglie limite definite in normativa.

Dai risultati ottenuti è emerso come non si riscontrano criticità in fase di cantiere, in quanto anche in prossimità dei ricettori più vicini alle aree di lavorazione e alla viabilità di cantiere i valori rientrano nei limiti normativi. Nel prosieguo della trattazione sono riportate nel dettaglio le analisi atmosferiche.

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1 PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI EUROPEI

In relazione ai principali riferimenti normativi europei, l'Unione Europea negli anni ha emanato una serie di direttive, finalizzate al controllo del livello di qualità dell'aria di alcuni inquinanti.

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.

2.2 PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI NAZIONALI

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 disotto 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 D.lgs. 155/2010, "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", recepisce la Direttiva 2008/50/CE 107/CE. 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 ed introducendo, in base alle nuove evidenze epidemiologiche, tra gli inquinanti da monitorare anche il PM2.5, ormai ben noto per la sua pericolosità.

Oltre a fornire una metodologia di riferimento per la caratterizzazione delle zone (zonizzazione), definisce i valori di riferimento che permettono una valutazione della qualità dell'aria, su base annuale, in relazione alle concentrazioni dei diversi inquinanti. Nella tabella seguente vengono riportati il riepilogo degli adeguamenti normativi stabiliti dal D.Lgs. 155/2010. Nella Tabella 2-1 seguente vengono riportati il riepilogo degli adeguamenti normativi stabiliti dal D.Lgs. 155/2010, agli allegati XI e XIII.

Studio atmosferico

Valori di riferimento per la valutazione della QA secondo il D.Lgs. 155/2010 e smi			
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 µg/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
IPA - Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	Media annua	1 ng/m ³
Metalli pesanti			
Arsenico	Valore obiettivo	Media annua	6 ng/m ³
Cadmio	Valore obiettivo	Media annua	5 ng/m ³
Nichel	Valore obiettivo	Media annua	20 ng/m ³

Figura 2.1: Valori limite, livelli critici, valori obiettivo, soglie di allarme per la protezione della salute umana per inquinanti diversi dall'ozono (Fonte: Allegati XI e XIII D. Lgs. 155/2010).

Il D.Lgs. 155/2010 introduce, quindi, norme, criteri e strumenti finalizzati a una migliore conoscenza dell'inquinamento atmosferico e assicura elevata qualità, uniformità e conformità di applicazione sul territorio nazionale. A tal fine, la Regione Toscana ha già approvato (DGR 964/2015) e trasmesso al Ministero il nuovo progetto di zonizzazione e classificazione del proprio territorio e il nuovo progetto volto all'adeguamento della propria rete alle relative disposizioni contenente il programma della valutazione.

Il Decreto attribuisce alle Regioni e alle Province autonome la competenza ad adottare, a seguito della valutazione della qualità dell'aria, specifici piani nel caso del superamento dei valori limite con interventi di riduzione delle emissioni inquinanti per il raggiungimento dei valori limite dei valori critici entro i termini previsti e misure per il perseguimento dei valori obiettivo e per il mantenimento della qualità dell'aria nonché piani per la riduzione del rischio di superamento dei valori limite, dei valori obiettivo e delle soglie di allarme.

3 INQUADRAMENTO METEOROLOGICO

3.1 ANALISI METEOROLOGICA ATTUALE

In questo paragrafo, relativo alla meteorologica dell'area allo studio, si rappresentano le statistiche descrittive dei principali parametri misurati dalle stazioni meteorologiche utili per la caratterizzazione del sito. L'analisi meteorologica è volta a definire i principali parametri meteorologici che influenzano la diffusione delle emissioni di inquinanti nell'atmosfera. Nei paragrafi successivi, infatti, si riporta la caratterizzazione meteo-climatica che fornisce un quadro sulle condizioni meteorologiche dell'area di intervento. I dati presi a riferimento insieme ai dati in quota derivanti da modelli matematici sono poi utilizzati per la ricostruzione del campo di vento dell'area allo studio.

L'area interessata dal progetto si trova a distanza dell'abitato di Perugia. Per la caratterizzazione della meteorologia dell'area, è stato fatto riferimento ad una stazione localizzata nel territorio a circa 10 km in linea d'aria dall'area oggetto di studio.

STATION	METEOROLOGIA PERUGIA
DATI ANNO	2022
LATITUDE	43.095906
LONGITUDE	12.513222
ELEVATION	211.22
NAME	PERUGIA, IT

Regime anemometrico

Di seguito si riporta, su base annuale, il dettaglio del regime dei venti dell'area in esame per l'anno 2022.

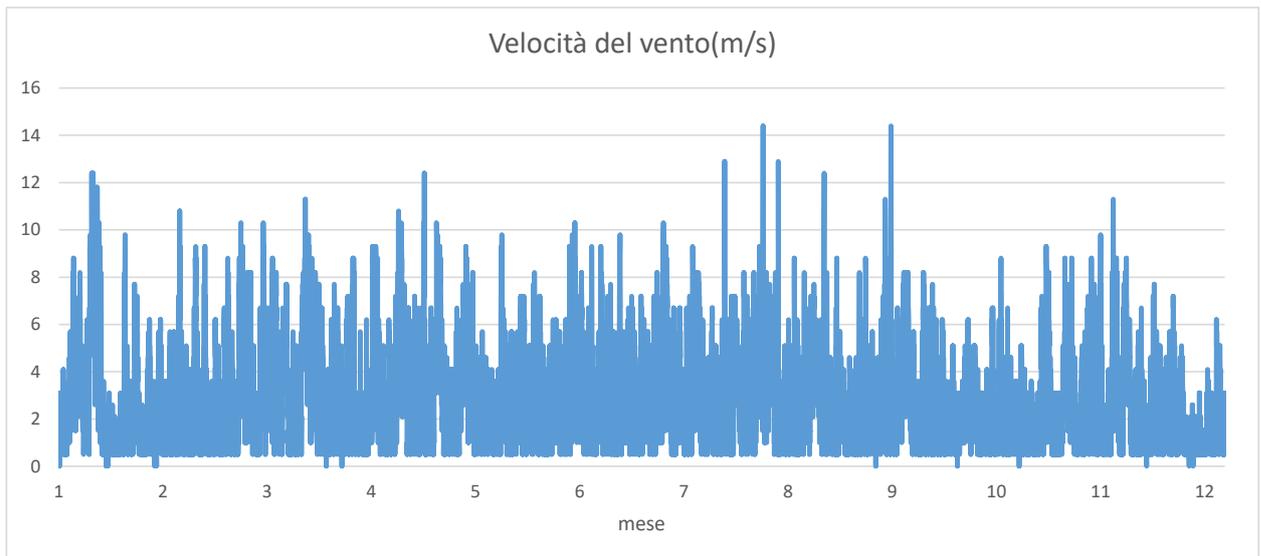


Figura 3.1: Serie temporale della velocità del vento per l'anno 2022 della stazione di Perugia.

Studio atmosferico

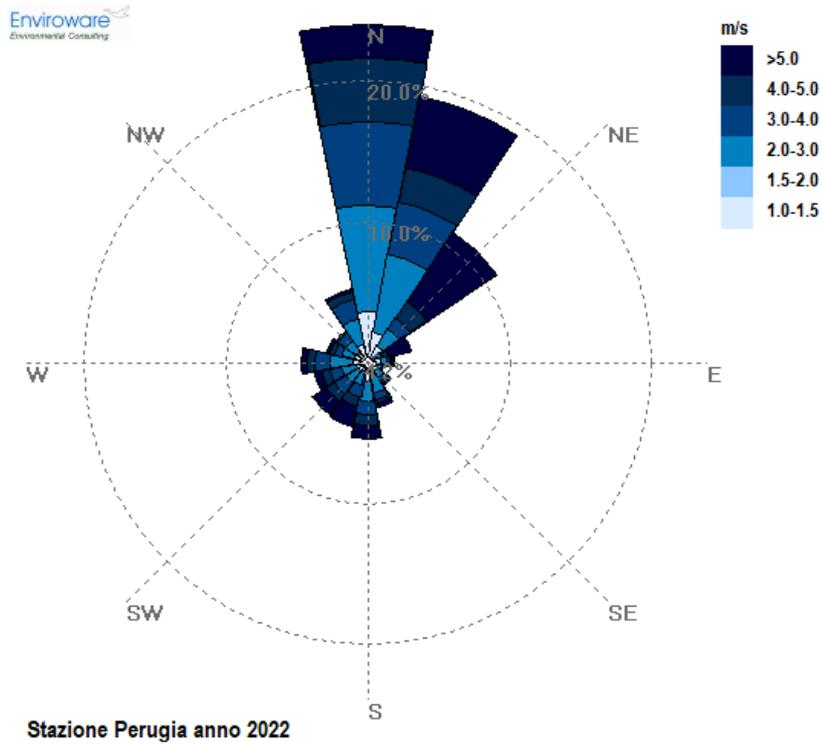


Figura 3.2: Rosa dei venti per l'anno 2022 della stazione di Perugia.

La tabella seguente mostra le statistiche della velocità del vento su base mensile.

Mesi dell'anno 2022	Max °C	Media °C	Min °C
gen	12.4	2.8	0.0
feb	10.8	2.7	0.5
mar	11.3	3.5	0.0
apr	12.4	3.5	0.5
mag	9.8	3.0	0.5
giu	10.3	3.0	0.5
lug	12.9	3.1	0.5
ago	14.4	3.1	0.5
set	14.4	2.9	0.0
ott	8.8	2.2	0.0
nov	11.3	2.8	0.5
dic	7.7	1.9	0.0
Valori annuali	14.4	2.9	0.0

Temperatura dell'aria

Nel seguente grafico si mostra l'andamento medio orario della temperatura dell'aria.

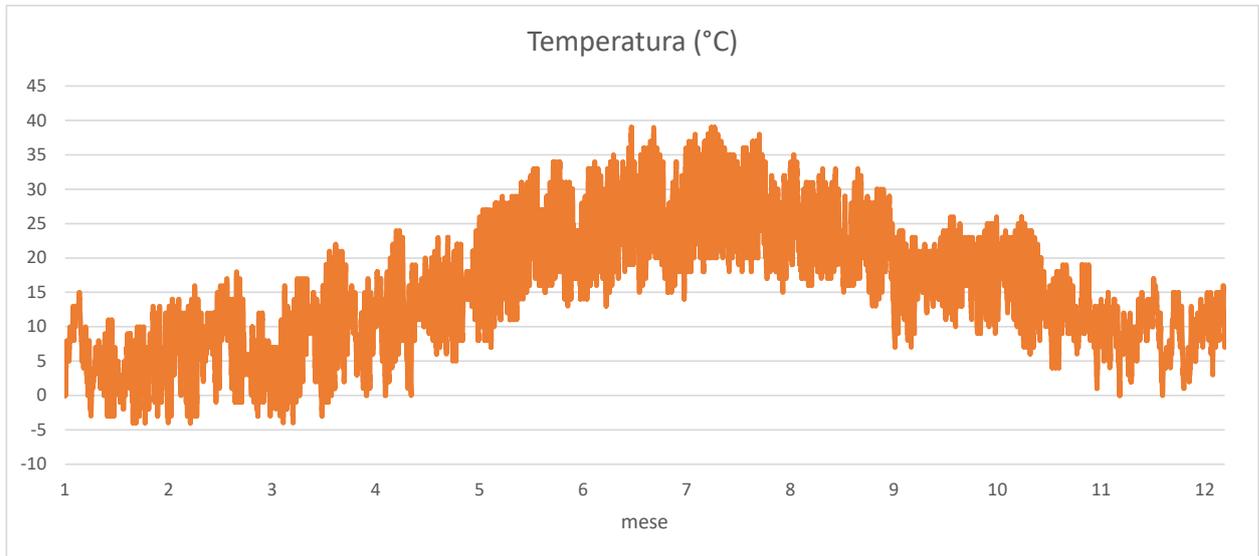


Figura 3.3: Serie temporale della temperatura dell'aria per l'anno 2022 della stazione di Perugia.

La tabella seguente mostra le statistiche della temperatura dell'aria su base mensile.

Mesi dell'anno 2022	Max °C	Media °C	Min °C
gen	15.0	4.7	-4.0
feb	18.0	7.0	-4.0
mar	22.0	7.5	-4.0
apr	24.0	11.8	0.0
mag	33.0	19.1	5.0
giu	39.0	24.6	13.0
lug	39.0	27.2	14.0
ago	38.0	25.0	15.0
set	33.0	19.6	7.0
ott	26.0	17.2	6.0
nov	23.0	11.1	0.0
dic	17.0	9.4	0.0
Valori annuali	39.0	15.4	-4.0

4 ANALISI DELLO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

4.1 LA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

Il Consiglio Regionale della Regione Umbria ha approvato in data 9 febbraio 2005 con Delibera n.466 il Piano Regionale di Risanamento e Mantenimento della Qualità dell'Aria (PRMQA), strumento di pianificazione a livello Regionale per la definizione delle migliori strategie volte a ridurre e migliorare i livelli di qualità dell'aria. L'ultimo aggiornamento del piano è stato approvato nel dicembre 2013 tramite deliberazione dell'Assemblea Legislativa del 17 dicembre 2013, n.296 e pubblicato nel B.U.R. della Regione Umbria del 5 febbraio 2014.

Il Piano prefigge come priorità riduzione delle concentrazioni di biossido di azoto (NO₂) nell'area urbana di Perugia e Terni, di polveri fini (PM₁₀) nell'area urbana di Perugia, Terni e Foligno, dei livelli di benzo[a]pirene a Terni, attuando diverse tipologie di azione.

Le misure tecniche di base, definite "pacchetto minimo", rappresentano la condizione base per il raggiungimento dell'obiettivo del non superamento dei limiti di concentrazione di polveri fini e biossido di azoto stabiliti dalla normativa e si possono così riepilogare:

Traffico. Il Piano si pone l'obiettivo di ridurre ogni cinque anni del 6% dei veicoli che circolano in città nelle aree urbane di Perugia, Corciano, Terni e Foligno. Una ulteriore misura, che riguarda i comuni di Perugia, Assisi, Bastia Umbra, Foligno, Bettona, Spello, Cannara, Bevagna, Spoleto e Trevi, prevede la riduzione del 15% del traffico nella valle umbra tramite il potenziamento del trasporto di passeggeri su ferrovia nella linea Perugia, Foligno, Spoleto aumentando, fino al 2020, del 20% la quota di spostamento passeggeri.

Traffico pesante. Nelle aree urbane di Perugia, Corciano, Foligno e Terni è prevista la chiusura al traffico pesante (maggiore a 35 quintali) con una riduzione del 70% al 2015 e del 100% al 2020 e le emissioni spostate sull'extraurbano diminuite per via del cambio di velocità media.

Pulizia strade. Nei Comuni in cui si è registrato il maggior numero di superamenti di concentrazione in atmosfera di polveri fini (Perugia, Foligno e Terni) che sulla base di studi specifici risultano dovute in parte, secondo importanti percentuali, al risollevarsi delle polveri da traffico, sono previste misure riguardanti la pulizia delle strade.

Riscaldamento. Per ridurre le emissioni dovute alla combustione della legna, che contribuisce al superamento delle polveri fini nel periodo invernale nei comuni di Perugia, Corciano, Foligno e Terni, il Piano prevede misure che sostengono la progressiva sostituzione di caminetti e stufe tradizionali con sistemi ad alta efficienza, con l'obiettivo di ammodernare il 60% degli impianti entro il 2015 e l'80% entro il 2020. Nella Valle umbra e nella Conca ternana, si ipotizza una riduzione del 20% ogni 5 anni in favore dei sistemi ad alta efficienza.

Una delle prime azioni individuata dal Decreto Legislativo n. 155/2010 è la zonizzazione o meglio il suo riesame in caso di variazione dei presupposti su cui è basata ai sensi delle nuove indicazioni normative. Il decreto prevede inoltre che la classificazione delle zone e degli agglomerati sia riesaminata almeno ogni cinque anni.

L'articolo 3 dello stesso decreto stabilisce che alla zonizzazione provvedono le Regioni sulla base dei criteri indicati nell'Appendice I al decreto stesso. Secondo la norma, il processo di zonizzazione presuppone l'analisi delle caratteristiche orografiche e meteo-climatiche, del carico emissivo e del grado di urbanizzazione del territorio al fine di individuare le aree omogenee in cui una o più di tali caratteristiche

sono predominanti nel determinare i livelli degli inquinanti. Il progetto di zonizzazione è stato adottato con Delibera di Giunta Regionale n. 488 del 16 maggio 2011 e qui si richiama nei suoi risultati.

Nello specifico, la zonizzazione della Regione Umbria prevede la divisione del territorio regionale in tre aree omogenee:

Zona collinare e montuosa (IT1006), in cui ricade l'area di intervento, è la zona omogenea più estesa del territorio regionale, caratterizzata da una bassa densità abitativa e da un relativo carico emissivo; le emissioni per questa zona sono mediamente inferiori a quelle delle altre zone più urbanizzate, comunque generalmente concentrate in centri abitati di piccola e media grandezza ed in alcune limitate aree industriali. In questa zona si distingue un centro abitato (Gubbio) che mostra termini di disomogeneità rispetto al resto della zona omogenea, sia per le emissioni di tipo industriale presenti nell'area comunale che per le emissioni antropiche.;

Zona di valle (IT1007), costituita dalle valli occupate nel pliocene dal vecchio Lago Tiberino, è caratterizzata dalla maggiore densità abitativa e dalle maggiori pressioni in termini emissivi derivanti prevalentemente dal sistema della mobilità pubblica e privata, dal riscaldamento degli edifici e da alcuni contributi industriali di particolare rilevanza. Sono compresi nella zona il Capoluogo di regione (Perugia) ed i maggiori centri urbani delle valli (Bastia Umbra, Foligno, Città di Castello, Marsciano, Todi, Spoleto). La zona comprende anche l'area dell'orvietano la cui principale pressione emissiva è rappresentata dall'autostrada A1.

Zona della Conca Ternana (IT1008), costituita da una particolare valle, circondata da rilievi montuosi, caratterizzata sia dalle pressioni dovute alla densità abitativa, trasporto e riscaldamento degli edifici, sia da pressioni in termini emissivi dovute al polo industriale Terni-Narni. In considerazione delle caratteristiche orografiche e meteo climatiche in questa zona sono particolarmente omogenei i livelli di concentrazione degli inquinanti, specialmente per le polveri fini nel periodo invernale.

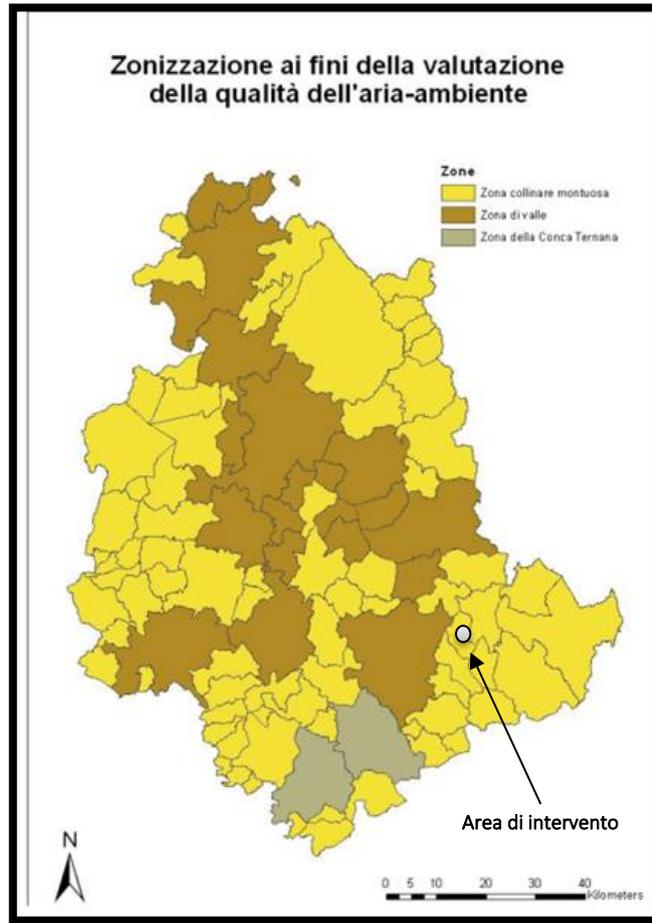


Figura 4.1: Zonizzazione ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente (Fonte: Piano Regionale per la Qualità dell'Aria)

La rete di monitoraggio e le centraline di riferimento

La Rete Regionale di Monitoraggio della qualità dell'aria nel 2013 è stata aggiornata in base alle indicazioni del D.Lgs. n. 155/10 sia in termini di strumentazione sia in punti di misura. Le stazioni della rete sono localizzate nelle aree più urbanizzate e/o industrializzate della regione.

Studio atmosferico

Località	Nome Stazione	Tipo stazione	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	CO	C ₆ H ₆	Pb Ni Cd As	B(a)P
Perugia	Fontivegge	Urbana/Traffico		SI	SI		SI	SI	SI		
Perugia	Ponte San Giovanni	Urbana/Traffico		SI	SI		SI				
Foligno	Porta Romana	Urbana/Traffico		SI	SI		SI	SI	SI		SI
Terni	Carrara	Urbana/Traffico		SI	SI		SI	SI	SI	SI	SI
Terni	Le Grazie ^(*)	Urbana/Traffico-Industriale		SI	SI	SI	SI			SI	SI
Perugia	Parco Cortonese	Urbana/Fondo	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI
Gubbio	Piazza 40 martiri	Urbana / Fondo		SI	SI	SI	SI	SI	SI ⁽⁺⁾	SI	SI
Città di Castello	C Castello ^(*)	Urbana/Fondo		SI	SI		SI		SI ⁽⁺⁾		SI
Spoletto	Piazza Vittoria	Urbana/Fondo		SI	SI		SI	SI	SI		
Terni	Borgo Rivo	Urbana/Fondo		SI	SI	SI	SI		SI ⁽⁺⁾	SI	SI
Amelia	Amelia ^(*)	Urbana/Fondo		SI	SI	SI	SI				
Magione	Magione ^(*)	Suburbana/Fondo		SI	SI	SI	SI		SI ⁽⁺⁾		
Narni	Narni Scalo ^(**)	Suburbana/Fondo		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Orvieto	Ciconia2 ^(*)	Suburbana/Fondo		SI	SI	SI	SI		SI ⁽⁺⁾		
Torgiano	Brufa	Rurale/Fondo		SI	SI	SI	SI		SI ⁽⁺⁾		
Giano dell'Umbria	M Martani	Rurale/Fondo		SI	SI		SI				
Gubbio	Ghigiano	Suburbana/Industriale	SI	SI	SI		SI				
Gubbio	Semonte Alta ^(**)	Suburbana/Industriale	SI	SI	SI		SI				
Gubbio	Via L. Da Vinci	Suburbana/Industriale	SI	SI	SI		SI				SI
Gubbio	Padule	Suburbana/Industriale	SI	SI	SI		SI				
Spoletto	S. Martino in Trignano	Suburbana/Industriale	SI	SI	SI					SI	SI
Spoletto	Madonna di Lugo	Suburbana/Industriale	SI	SI	SI		SI				
Terni	Prisciano ^(***)	Suburbana/Industriale		SI	SI		SI			SI	SI
Terni	Maratta ^(***)	Suburbana/Industriale	SI	SI	SI		SI	SI		SI	SI

^(*) Le stazioni di Città di Castello e Magione sono state attivate a fine 2012, mentre le stazioni Amelia e Ciconia2 sono state attivate a fine 2013

^(**) Le stazioni Narni Scalo e Semonte Alta sono state riposizionata nel febbraio 2013, la stazione di Le Grazie nel novembre 2014.

^(***) La stazione di Prisciano è stata attivata ad agosto 2014 mentre Maratta a dicembre 2014

⁽⁺⁾ Misure effettuate con campionamento diffuso su assorbente solido e analisi offline

Figura 4.2: Stazione fisse di monitoraggio della qualità dell'aria (Fonte: "Valutazione della qualità dell'aria in Umbria Anno 2021")

In figura precedente è riportato l'elenco delle stazioni fisse di monitoraggio presenti sul territorio regionale, classificate per tipologia e inquinante monitorato. La localizzazione di tali centraline è mostrata in figura seguente.

Studio atmosferico



Figura 4.3: Localizzazione delle centraline per il rilevamento della qualità dell’aria nella Regione Umbria (Fonte: ARPA Umbria)

Relativamente all’area di studio del presente SIA, a valle di una prima analisi delle centraline presenti in prossimità dell’area di intervento, sono state scelte come centraline di riferimento quelle più vicine all’area di intervento:

- per PM10, PM2,5, NOx e NO2: la centralina di Spoleto – Madonna di Lugo, distante circa 10 km dall’area di interesse, caratterizzata come “suburbana industriale”;
- per CO e C6H6 (in quanto non monitorati dalla precedente centralina): la centralina di Spoleto – Piazza Vittoria, distante circa 12 km dall’area di intervento, caratterizzata come di “fondo urbana”.

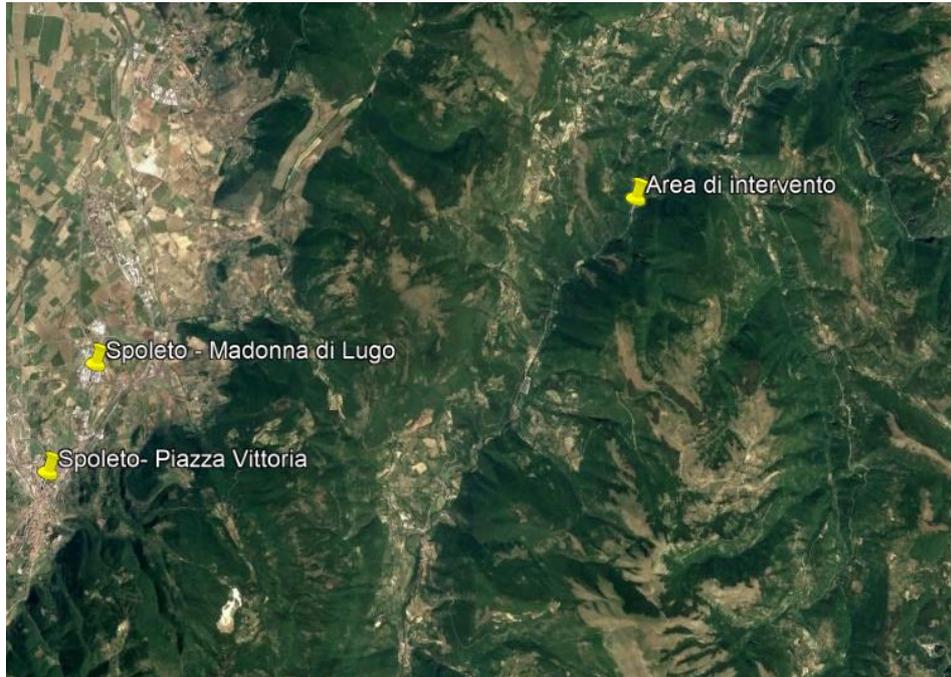


Figura 4.4: Localizzazione delle centraline di riferimento rispetto all'area di intervento.

È bene sottolineare, come si evince anche dalla figura appena riportata, come il contesto territoriale in cui si inseriscono tali centraline non sia effettivamente lo stesso presente nell'intorno dell'area di intervento. Ciononostante, si può affermare che i valori di concentrazione registrati dalle centraline sono sicuramente superiori alle concentrazioni misurabili nell'area di intervento. Pertanto, sulla base di tali considerazioni, la scelta delle centraline risulta essere sicuramente maggiormente cautelativa rispetto all'ipotesi di considerare una centralina più distante dall'area di intervento caratterizzata da un contesto territoriale circostante più simile a quest'ultima.

Di seguito viene riportata un'analisi storica dei valori di concentrazione registrati dalle centraline di riferimento per il periodo 2018-2022.

4.2 ANALISI DEGLI INQUINANTI MONITORATI

4.2.1 Ossidi e biossidi di azoto

Caratteristiche ed effetti sull'uomo e sull'ambiente

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO₂).

Durante le combustioni l'azoto molecolare (N₂) presente nell'aria, che brucia insieme al combustibile, si ossida a monossido di azoto (NO). Nell'ambiente esterno il monossido si ossida a biossido di azoto (NO₂), che è quindi un inquinante secondario, poiché non viene emesso direttamente. Il biossido di azoto è "ubiquitario" ciò significa che si ritrova in atmosfera un po' ovunque, con concentrazioni abbastanza costanti.

L'ossido di azoto (NO), anche chiamato ossido nitrico, è un gas incolore, insapore ed inodore con una tossicità limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole. Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo - rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante. Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto all'elevata presenza di questo gas. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi tra cui l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso e gli alchilnitrati. Da notare che gli NOx vengono per lo più emessi da sorgenti al suolo e sono solo parzialmente solubili in acqua, questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente bassa. A causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante, in quanto risulta molto più tossico del monossido. Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni delle funzioni polmonari, di bronchiti croniche, di asma e di enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica riduzione delle difese polmonari, con conseguente aumento di rischio di infezioni alle vie respiratorie soprattutto in soggetti bronchitici ed asmatici, negli anziani e nei bambini. L'inquinamento da biossido di azoto ha un impatto sulla vegetazione di minore entità rispetto al biossido di zolfo. In alcuni casi, brevi periodi di esposizione a basse concentrazioni possono incrementare i livelli di clorofilla, mentre lunghi periodi possono causare la senescenza e la caduta delle foglie più giovani.

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

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

Concentrazioni di NOx

Tramite i dati registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo è stato possibile analizzare l'evoluzione negli anni dell'inquinante NOx, in particolare è stato preso in considerazione un intervallo temporale di 5 anni, dal 2018 al 2022. Nella Tabella seguente sono riportati tutti i valori calcolati per l'NOx negli anni disponibili.

NOx	2018	2019	2020	2021	2022
Concentrazione media annua (µg/m³)	-	-	-	13	15

Tabella 4.1: Concentrazione media annua di NOx registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo (µg/m³) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Come si può osservare nella precedente tabella, il limite annuo per la protezione della vegetazione pari a 30 µg/m³, non è mai stato superato negli anni analizzati.

Concentrazioni di NO₂

I soli NO_x, tuttavia, non forniscono dati sufficienti ad un'analisi completa del territorio e soprattutto non verificano i limiti normativi per la protezione della salute umana. Pertanto, è stato condotto uno studio analogo anche sul Biossido di Azoto NO₂. In Tabella seguente sono state riportate le concentrazioni medie annue di NO₂ registrate dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo nel periodo di riferimento (2018-2022).

NO ₂	2018	2019	2020	2021	2022
Concentrazione media annua (µg/m³)	32	17	11	9	10
N° superamenti del limite orario	0	0	0	0	0

Tabella 4.2: Concentrazione media annua e numero di superamenti di NO₂ registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo (µg/m³) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Dalla tabella precedente si può notare come il limite annuo pari a 40 µg/m³, non è mai stato superato negli anni analizzati. Inoltre, il trend descritto negli anni evidenzia un leggero miglioramento dei livelli di qualità dell'aria per il biossido di azoto, passando dai 32 µg/m³ nel 2018 ai 10 µg/m³ nel 2022.

Per quanto riguarda invece le concentrazioni orarie registrate dalla centralina, non si registrano per nessun anno indagato superamenti del limite normativo di 200 µg/m³.

4.2.2 Particolato

Spesso il particolato rappresenta l'inquinante a maggiore impatto ambientale nelle aree urbane, tanto da indurre le autorità competenti a disporre dei blocchi del traffico per ridurre il fenomeno. Le particelle sospese, anche indicate come PM (Particulate Matter), sono sostanze allo stato solido o liquido che, a causa delle loro piccole dimensioni, restano sospese in atmosfera per tempi più o meno lunghi. Il particolato nell'aria può essere costituito da diverse sostanze: sabbia, ceneri, polveri, fuliggine, sostanze silicee di varia natura, sostanze vegetali, composti metallici, fibre tessili naturali e artificiali, sali, elementi come il carbonio o il piombo, ecc.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Gli effetti del particolato sul clima della terra sono invece piuttosto discussi; sicuramente un aumento del particolato in atmosfera comporta una diminuzione della temperatura terrestre per un effetto di riflessione e schermatura della luce solare, in ogni caso tale azione è comunque mitigata dal fatto che le particelle riflettono anche le radiazioni infrarosse provenienti dalla terra.

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

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

Concentrazioni di PM10

Per analizzare i valori di concentrazione del PM10 sono stati visionati i dati registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo nell'arco temporale di riferimento, ossia dal 2018 al 2022. Tali dati, mostrati nella seguente tabella, hanno permesso di comprendere l'evoluzione dell'inquinante in questo arco temporale.

PM10	2018	2019	2020	2021	2022
Concentrazione media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19	16	21	17	19
N° superamenti del limite giornaliero	5	0	9	5	5

Tabella 4.3: Concentrazione media annua e numero di superamenti di PM10 registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Come evidente il limite annuo pari a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, non è mai stato superato. Il massimo numero di superamenti del limite giornaliero consentito, pari a 35, non è mai stato superato. Nello specifico, il 2019 è risultato essere il migliore in quanto non è stato registrato nessun superamento di tale limite di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Concentrazioni di PM2,5

Analogamente a quanto fatto per il particolato grossolano, è stato possibile analizzare i dati di concentrazione media annua di particolato fine registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo nel periodo di riferimento, mostrati in tabella seguente.

PM10	2018	2019	2020	2021	2022
Concentrazione media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13	11	12	12	13

Tabella 4.4: Concentrazione media annua di PM2,5 registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Come si può osservare la centralina non ha registrato superamenti del limite annuo del PM2,5 pari a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In particolare, i valori medi annui registrati per tale inquinante nel periodo 2018-2022 si mantengono costanti tra i 11 e i 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2.3 Monossido di carbonio

Caratteristiche ed effetti sull'uomo e sull'ambiente

Il monossido di carbonio (o ossido di carbonio o ossido carbonioso) è un gas velenoso particolarmente insidioso in quanto inodore e insapore. La sua molecola è costituita da un atomo di ossigeno e un atomo di carbonio legati con un triplo legame (costituito da due legami covalenti e un legame dativo). La sua formula chimica è CO.

Il monossido di carbonio viene prodotto da reazioni di combustione in difetto di aria (cioè quando l'ossigeno presente nell'aria non è sufficiente a convertire tutto il carbonio in anidride carbonica), per esempio negli incendi di foreste e boschi, dove il prodotto principale della combustione rimane comunque l'anidride carbonica. Altre fonti naturali sono i vulcani, mentre la maggior parte si genera da reazioni fotochimiche che avvengono nella troposfera. Inoltre, si sprigiona durante le combustioni in ambienti chiusi e dalle vecchie stufe a gas liquido, responsabili dell'alta frequenza di intossicazione da monossido di carbonio.

Si miscela bene nell'aria, con la quale forma facilmente miscele esplosive. In presenza di polveri metalliche finemente disperse, forma metallocarbonili tossici e infiammabili. Può reagire vigorosamente con ossigeno, acetilene, cloro, fluoro, ossidi di azoto.

Il monossido di carbonio è un prodotto della combustione incompleta dei combustibili organici (ad esempio: carbone, olio, legno, carburanti). Il CO è inoltre un combustibile importante perché rilascia una considerevole quantità di calore quando brucia all'aria.

Importanti combustibili industriali a base di monossido di carbonio sono il gas d'acqua (una miscela di CO e H₂), il gas d'aria (una miscela di CO e N₂) e il gas da carbone (miscela di CO, H₂, CH₄ e CO₂, prodotto per distillazione del carbone e conservato nei gasometri). Quest'ultimo era il cosiddetto gas di città, fornito nelle case per cucinare e per il riscaldamento, oggi sostituito dal gas naturale, costituito principalmente da metano (CH₄).

Il monossido di carbonio è un'emotossina, perché legandosi saldamente allo ione del ferro nell'emoglobina del sangue forma un complesso, chiamato carbossiemoglobina, 300 volte più stabile di quello formato dall'ossigeno, chiamato ossiemoglobina, ostacolando così il trasporto di ossigeno nel sangue.

A causa del traffico automobilistico la popolazione urbana è spesso soggetta a lunghe esposizioni a basse concentrazioni. La lenta intossicazione da ossido di carbonio prende il nome di ossicarbonismo e si manifesta con sintomi nervosi e respiratori.

L'esposizione a monossido di carbonio comporta inoltre l'aggravamento delle malattie cardiovascolari, un peggioramento dello stato di salute nelle persone sane ed un aggravamento delle condizioni circolatorie in generale.

Concentrazioni di CO

Per analizzare i valori di concentrazione di CO sono stati visionati i dati registrati dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria nell'arco temporale considerato. Tali dati hanno permesso di comprendere l'evoluzione, in questo arco temporale, dell'inquinante.

In tabella seguente, in considerazione del limite giornaliero di 10 mg/m³, sono stati riportati i valori di concentrazione massima media calcolata su 8 ore consecutive registrati per il CO negli anni analizzati.

CO	2018	2019	2020	2021	2022
Concentrazione	1,7	3,4	2,1	1,8	2,0

media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	annua					

Tabella 4.5: Concentrazione massima giornaliera calcolata su 8 ore consecutive di CO registrata dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria (mg/m^3) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Come si osserva in tabella, nel periodo 2018-2022 non sono stati registrati superamenti del limite normativo di $10 \text{ mg}/\text{m}^3$, di concentrazione massima media calcolata su 8 ore consecutive. I valori riportati sono al di sotto di tale limite, raggiungendo un minimo di $1,7 \text{ mg}/\text{m}^3$ nel 2018 ed un massimo nel 2019, per cui risulta essere pari a $3,4 \text{ mg}/\text{m}^3$.

4.2.4 Benzene

Caratteristiche ed effetti sull'uomo e sull'ambiente

Il benzene è un composto chimico che a temperatura ambiente e pressione atmosferica si presenta sotto forma di liquido volatile incolore altamente infiammabile, dall'odore caratteristico.

Dal punto di vista chimico, il benzene è un idrocarburo aromatico monociclico avente formula C_6H_6 . È un costituente naturale del petrolio, ma viene anche sintetizzato a partire da altri composti chimici presenti nel petrolio stesso. Possiede notevoli proprietà solventi: è miscibile in tutte le proporzioni con molti altri sol-venti organici, mentre è poco solubile in acqua ($0,18\%$ a 25°C).

Viene da tempo impiegato come antidetonante nelle benzine, ma a causa della sua pericolosità per la salute e della facilità con cui contamina le falde freatiche, diverse entità (tra cui gli Stati Uniti e l'Unione europea) ne stanno scoraggiando l'uso limitandone le concentrazioni ammesse per legge.

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

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

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

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

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

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

Il principale effetto di un'esposizione cronica al benzene è il danneggiamento dei tessuti ossei e la diminuzione delle cellule del midollo osseo, che può causare una diminuzione del tasso di globuli rossi nel

sangue e un'anemia aplastica o una leucemia. Può anche dare origine a coaguli, difficoltà di coagulazione del sangue ed indebolimenti del sistema immunitario.

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

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

Il benzene è annoverato nella lista degli inquinanti atmosferici redatta nel documento del Clean Air Act e come inquinante delle acque nel Clean Water Act.

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

Concentrazioni di benzene

Per quanto concerne il benzene, relativamente a tale inquinante sono state analizzate le medie annue registrate nel periodo di riferimento, tramite i dati registrati dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria.

C6H6	2018	2019	2020	2021	2022
Concentrazione media annua (µg/m³)	0,8	0,6	0,9	0,8	1,2

Tabella 4.6: Concentrazione media annua di benzene registrata dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria (µg/m3) nel periodo 2018-2022
(Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Si mette in luce come per l'intero periodo di riferimento il limite normativo di 5 µg/m3 sia ampiamente rispettato, mantenendosi sempre inferiore agli 1,2 µg/m3 e raggiungendo un minimo nell'anno 2019 in cui viene registrata una concentrazione media pari a 0,6 µg/m3.

4.2.5 Quadro sinottico della qualità dell'aria

Nella seguente tabella si riassumono i valori di qualità dell'aria degli inquinanti di interesse, rilevati dalle centraline considerate:

- dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo, caratterizzata come "suburbana industriale", sono state rilevate le concentrazioni di NOx, NO2, PM10, PM2,5;
- dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria, caratterizzata come di "fondo urbana", sono state invece prese le concentrazioni relative a CO e C6H6.

La Tabella seguente nello specifico mostra i valori di riferimento all'anno 2022, anno di riferimento dello scenario attuale per le analisi effettuate. I valori riportati in tabella sono stati utilizzati come valori di fondo della qualità dell'aria dell'area di intervento.

Centralina di riferimento	Inquinante	Valore di qualità dell'aria media annua - 2022
Spoleto – Madonna di Lugo	15	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	10	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	19	19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		0,7 mg/m^3
Spoleto – Piazza Vittorie	CO	1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	C6H6	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabella 4.7: Sintesi dei valori di qualità dell'aria media annua (2022)

4.3 INVENTARIO DELLE EMISSIONI

4.3.1 Emissioni a livello nazionale

Con riferimento all’Inventario Nazionale delle Emissioni in Atmosfera del 2022, realizzato dall’ISPRA, è stato possibile delineare il quadro nazionale italiano delle emissioni in atmosfera per il periodo compreso tra il 1990 ed il 2020 relativo ai principali inquinanti d’interesse per la componente in esame, ossia gli ossidi di azoto (NO_x), il particolato (PM₁₀ e PM_{2,5}) e il monossido di carbonio (CO). Si riportano di seguito le emissioni prodotte dalle macro - attività considerate nell’Inventario Nazionale (Italian Emission Inventory 1990-2020 Informative Inventory Report 2022).

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020 Emissioni di NO _x [Tonnellate all’anno]										
Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	457,4	344,3	172,6	117,9	81,3	52,4	45,6	41,6	38,7	34,0
Impianti di combustione non industriale	64,2	65,5	64,8	74,9	85,5	86,2	87,3	86,4	85,9	82,9
Combustione industriale	250,6	182,4	154,0	155,5	99,7	60,2	54,4	53,3	52,2	45,3
Processi produttivi	29,9	31,0	9,2	16,0	10,7	9,5	10,7	10,5	10,5	9,3
Uso di solventi e altri prodotti	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Trasporti stradali	996,1	1039,7	777,3	628,9	422,1	327,6	283,3	286,1	270,9	213,3
Altre fonti mobili e macchine	261,5	258,5	260,1	233,0	183,1	127,3	122,9	129,0	129,8	128,3
Trattamento e smaltimento rifiuti	2,9	3,1	2,6	2,9	2,6	2,4	2,4	2,3	2,3	2,4
Agricoltura	62,0	64,5	63,7	60,0	49,8	49,8	52,1	51,5	49,4	48,7
TOTALE	2124,7	1988,9	1504,4	1289,0	934,2	718,6	699,4	645,8	639,1	626,7

Tabella 4.8: Emissioni nazionali di NO_x (Fonte: INEA 2022 - ISPRA)

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020 Emissioni di PM10 [Tonnellate all'anno]										
Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	44,8	39,6	18,4	5,9	2,8	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6
Impianti di combustione non industriale	67,8	71,2	68,6	68,6	123,1	106,8	113,0	95,1	94,0	89,9
Combustione industriale	27,6	25,1	18,6	17,9	12,4	7,7	7,8	8,0	7,3	6,7
Processi produttivi	30,1	29,1	26,0	27,6	20,3	13,7	13,2	13,6	13,6	12,3
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Uso di solventi e altri prodotti	2,8	2,8	3,8	3,8	3,4	2,6	2,3	2,3	2,2	2,0
Trasporti stradali	58,7	57,6	52,6	46,3	33,3	24,4	20,9	20,4	19,4	15,5
Altre fonti mobili e macchine	31,6	32,1	30,5	25,1	15,9	10,0	9,0	9,0	8,8	8,8
Trattamento e smaltimento rifiuti	5,4	5,6	5,5	5,8	5,3	5,8	6,5	6,3	6,5	6,5
Agricoltura	33,5	34,2	33,0	30,2	22,9	23,1	23,2	23,2	23,2	23,2
TOTALE	302,5	297,4	257,1	231,5	239,8	195,0	196,5	178,4	176,1	165,7

Tabella 4.9: Emissioni nazionali di PM10 (Fonte: INEA 2022 - ISPRA)

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020 Emissioni di PM2,5 [Tonnellate all'anno]										
Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	30,1	27,8	12,7	3,7	1,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4
Impianti di combustione non industriale	66,9	70,6	67,9	67,9	121,8	105,6	111,7	94,0	92,8	88,8
Combustione industriale	19,9	18,3	14,0	13,6	9,8	6,3	6,4	6,5	6,1	5,6
Processi produttivi	14,2	13,6	11,5	12,1	9,7	6,9	6,3	6,4	6,3	5,6
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso di solventi e altri prodotti	2,7	2,7	3,3	3,2	2,9	2,3	2,1	2,1	2,0	1,8
Trasporti stradali	52,9	51,0	45,5	39,0	26,5	17,5	14,7	13,9	13,5	10,6
Altre fonti mobili e macchine	31,5	32,0	30,4	25,0	15,9	9,7	8,8	8,9	8,8	8,8
Trattamento e smaltimento rifiuti	5,0	5,2	5,2	5,4	4,9	5,5	6,1	6,0	2,5	6,2
Agricoltura	7,1	7,0	6,9	6,5	5,3	5,4	5,4	5,3	5,3	5,3
TOTALE	230,4	228,2	197,4	176,4	198,6	159,9	162,2	143,7	137,8	133,2

Tabella 4.10: Emissioni nazionali di PM2,5 (Fonte: INEA 2022 - ISPRA)

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020 Emissioni di CO [Tonnellate all'anno]										
Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	58,9	54,1	54,4	53,9	34,5	39,9	44,5	39,6	38,6	39,0
Impianti di combustione non industriale	795,1	894	913,1	930,4	1664,9	1395,4	1475,5	1289,1	1267,8	1204,6
Combustione industriale	305,6	410,9	314,6	326	233,6	92,8	81,9	80,8	112,2	87,9
Processi produttivi	223,7	139,8	129,2	143,6	105,0	63,6	71,8	70,8	69,6	60,0
Uso di solventi e altri prodotti	5,1	5,1	5,7	5,3	5,1	4,4	4,3	4,2	4,0	3,9
Trasporti stradali	4874,5	5106,1	2973,8	1681,2	776,3	479,3	403,6	386,5	389,6	294,0
Altre fonti mobili e macchine	480,5	402,5	302,9	263,4	193,9	132,0	118,7	122,9	123,7	126,6
Treatmento e smaltimento rifiuti	40,7	46,9	45,4	50,5	47,2	47,0	46,0	44,3	44,0	44,9
Agricoltura	12,5	12,2	12,1	13,1	12,5	12,7	12,4	12,2	12,0	12,1
TOTALE	6796,5	7071,6	4751,1	3467,4	3073,0	2267,2	2258,6	2050,5	2061,5	1872,8

Tabella 4.11: Emissioni nazionali di CO (Fonte: INEA 2022 - ISPRA)

4.3.2 Emissioni a livello regionale

Con riferimento all'Inventario Regionale delle Emissioni in atmosfera della Regione Umbria (IRE) realizzato da ARPA Umbria secondo gli standard indicati a livello nazionale dalla normativa, dall'Istituto Superiore per la Prevenzione e Ricerca Ambientale (ISPRA) nonché seguendo le metodologie adottate a livello europeo (EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook), è stato possibile effettuare l'analisi emissiva del territorio circostante l'area in esame, dapprima a livello regionale e successivamente a livello provinciale.

Studio atmosferico

Dall’Inventario sono state considerate le emissioni prodotte nell’anno 2018 (ultimo anno disponibile) dai diversi macrosettori. Dall’osservazione della tabella seguente, a livello regionale si evince che:

- per le emissioni di ossidi di azoto (NOx), queste sono principalmente dovute al macrosettore “Trasporto su strada” per circa il 50% delle emissioni totali di ossidi di azoto;
- per il monossido di carbonio (CO), la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore “Riscaldamento”, responsabile del 70% delle emissioni di CO per l’anno 2018 nella regione Umbria;
- per il particolato, la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore “Riscaldamento”, responsabile di circa il 76% delle emissioni di PM10 e di circa l’88% del PM2,5;
- le emissioni di benzene (C6H6) sono dovute al macrosettore “Riscaldamento” per circa l’89% delle emissioni totali di benzene.

Di seguito si riportano i valori di emissione della Regione Umbria suddivisi per macrosettori.

Macrosettore	CO	NOx	PM10	PM2,5	C6H6
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Combustione nell'industria dell'energia	372,62	478,53	11,26	10,86	0,83
Riscaldamento	38891,5	1336,68	6726,3	6563,6	570,37
Combustione industriale	1981,24	4108,58	21,62	20,64	11,16
Processi senza combustione	1614,15	1471,94	364,69	137,89	4,16
Estrazione e distribuzione dei combustibili fossili	0	0	0	0	0,07
Uso di solventi	1,79	8,97	7,38	7,38	0,01
Trasporti stradali	11580,1	8088,01	581,4	451,43	50,05
Altre sorgenti mobili	211,98	633,82	30,61	30,54	1,69
Trattamento e smaltimento rifiuti	458,06	14,33	40,98	35,55	0,17
Agricoltura	0	0	1035,3	151,63	0,00
Natura	59,97	1,68	7,29	7,29	0,27
TOTALI	55171,3	16142,5	8826,8	7416,8	638,80

Tabella 4.12: Emissioni per i macrosettori della Regione Umbria (Fonte: elaborazione dati IRE)

4.4 CAMBIAMENTO CLIMATICO E GAS SERRA

4.4.1 Aspetti generali del fenomeno

Per cambiamento climatico (climate change) si intendono i cambiamenti del clima a livello globale. In particolare, la climatologia definisce come cambiamenti climatici le variazioni del clima della Terra (a livello regionale, continentale, emisferica e globale) e storico-temporali (decennale, secolare, millenario e ultramillenario) di uno o più parametri ambientali e climatici nei loro valori medi: temperature (media, massima e minima), precipitazioni, nuvolosità, temperature degli oceani, distribuzione e sviluppo di piante e animali.

Secondo l'UNFCCC (Convenzione Quadro sul Cambiamento Climatico delle Nazioni Unite), il cambiamento climatico si definisce come "il cambiamento del clima che sia attribuibile direttamente o indirettamente ad attività umane, che alterino la composizione dell'atmosfera planetaria e che si sommino alla naturale variabilità climatica osservata su intervalli di tempo analoghi".

L'UNFCCC nella sopra citata definizione introduce il concetto della naturale variabilità climatica, legata ai complessi processi naturali esterni (cicli del sole e dell'orbita terrestre) e interni al pianeta, ma anche quello dell'alterazione della complessa variabilità naturale causata dalle attività umane.

Il clima terrestre è determinato dal bilancio radiativo del pianeta, ovvero dalla quantità di energia entrante e uscente dal sistema Terra, e da interscambi di materia in massima parte interni al sistema Terra. Una buona parte dell'energia del sistema è rappresentata dalla temperatura, mentre la materia scambiata nel sistema terrestre è costituita per lo più dal ciclo dell'acqua. Per questo motivo ogni classificazione climatica, e ogni valutazione della variabilità e del cambiamento del clima, si basa prima di tutto sulle temperature e sulle precipitazioni.

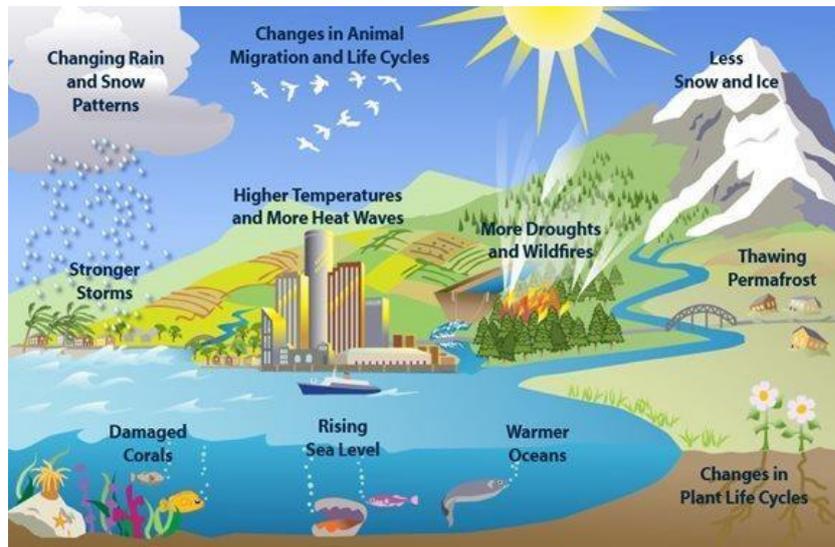
Le principali cause naturali dell'inquinamento atmosferico sono da attribuire nello specifico: alle eruzioni vulcaniche che emettono nell'atmosfera, oltre al vapor d'acqua, diversi gas tra i quali CO₂, HCl, H₂S; agli incendi boschivi che oltre a CO₂ e H₂O riversano nell'atmosfera fumo; agli effetti provocati dall'erosione del vento sulle rocce con formazione di polveri (piogge di sabbia nei deserti); alla decomposizione batterica di vari materiali organici che possono generare sostanze maleodoranti come ammine alifatiche e mercaptani e alle scariche elettriche che avvengono durante i temporali che possono dare origine a ossidi di azoto e di ozono. A queste cause si aggiungono quelle di natura antropica, cioè provocate dalle attività dell'uomo che hanno cambiato nel corso degli anni le capacità termiche dell'atmosfera introducendo fattori che sono stati capaci di spostare l'equilibrio naturale esistente e le naturali fluttuazioni di questo equilibrio, generando, di fatto, un "effetto serra" aggiuntivo a quello naturale.

I recenti dati riportano che l'aumento della temperatura che si è già verificato, comincia a essere di notevole rilevanza, paragonabile a quello delle più grandi variazioni climatiche della storia della Terra e si sta manifestando con una velocità assolutamente straordinaria.

L'aumento delle temperature comporta effetti già parzialmente in atto come la diminuzione delle precipitazioni annue, gli incendi più estesi, la siccità, il collasso dei ghiacciai, l'aumento del livello del mare, la desertificazione, la diffusione di malattie, il collasso di ecosistemi e le migrazioni di massa. A livello meteorologico, è già in atto il processo di rarefazione delle precipitazioni annue. Ad un aumento di temperatura corrisponde un aumento dell'evaporazione ed una maggiore difficoltà nella trasformazione del vapore acqueo in gocce di pioggia. Questa tendenza è soprattutto comune a tutta la fascia del globo compresa tra l'equatore e i 45 gradi di latitudine circa. Nonostante le precipitazioni annue siano diminuite, paradossalmente, quando piove, piove in modo più intenso. Questo processo determina forti e violente precipitazioni che provocano alluvioni, frane, inondazioni e altri dissesti idrogeologici.

Nell'ultimo secolo, infatti, il livello del mare è aumentato sia a causa dell'espansione termica che dello scioglimento dei ghiacciai continentali e montani. Il continuo aumento del livello dell'acqua comporterà maggiori rischi per i centri abitati in vicinanza delle zone costiere europee del Mediterraneo, mentre nelle zone dell'Atlantico porterà a un aumento dell'intensità degli uragani e si potrebbe verificare una contaminazione delle falde acquifere potabili. Diverse specie animali e vegetali saranno compromesse a causa delle scarse capacità di adattamento al clima e solo una minoranza ne trarrà vantaggi, cioè quelle molto adattabili che non sono a rischio di estinzione. Questo provocherà perdita delle biodiversità esistenti e l'insediamento di nuove, con la formazione di nuovi ecosistemi.

I principali effetti sopra descritti possono essere sinteticamente rappresentati nella figura sottostante.



Stante tali considerazioni, è chiaro anche come l'aria e il clima influenzino lo stato di salute di tutti gli esseri viventi. Tra i rischi maggiori previsti c'è la diffusione di malattie infettive, poiché eventuali siccità o inondazioni potrebbero creare le condizioni ideali per il proliferare di parassiti, batteri e virus. Un'aria più pulita ridurrebbe l'incidenza di malattie delle vie respiratorie, del sistema immunitario, cardiocircolatorio e il rischio di ammalarsi di tumore.

Per tali ragioni è sempre più necessario affrontare in maniera efficace il problema in modo da rimediare ai gravi effetti causati dai cambiamenti climatici.

Rispetto alla tematica in esame, i lavori svolti a livello internazionale dall'IPCC insistono nell'affermare che, a fronte delle molteplici azioni oggi intraprese per gestire gli effetti connessi alla variabilità climatica, attraverso la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, tali effetti siano comunque inevitabili. Gli studi condotti dall'IPCC evidenziano, inoltre, come la variabilità climatica sia strettamente legata alle attività umane e come le temperature, le emissioni di CO₂ e il livello dei mari continueranno progressivamente a crescere con impatti negativi su specifiche aree del Pianeta.

La maggior parte degli esperti riconducono il riscaldamento globale, prevalentemente, all'aumento delle concentrazioni di gas a effetto serra, ed in particolare alla CO₂, nell'atmosfera dovuto alle emissioni antropogeniche.

In conformità al Protocollo di Kyoto, i gas ad effetto serra sono: anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), protossido d'azoto (N₂O), idrofluorocarburi (HFCs), esafluoruro di zolfo (SF₆) e perfluorocarburi (PFCs).

Come affermato dalla Comunità Europea, la CO₂ in particolare è un gas serra prodotto soprattutto dall'attività umana ed è responsabile del 63% del riscaldamento globale causato dall'uomo. La sua concentrazione nell'atmosfera supera attualmente del 40% il livello registrato agli inizi dell'era industriale. L'attività dell'uomo negli ultimi secoli ha, infatti, incrementato l'ammontare di gas serra nell'atmosfera modificando l'equilibrio radiativo e la partizione energetica superficiale.

Di seguito si riportano le principali attività umane che causano l'incremento di emissione di gas serra nell'atmosfera causando a loro volta l'effetto serra ed i cambiamenti climatici.

- Uso di combustibili fossili: la combustione di carbone, petrolio e gas produce anidride carbonica e ossido di azoto.
- Deforestazione: gli alberi aiutano a regolare il clima assorbendo CO₂ dall'atmosfera. Abbattendoli, quest'azione viene a mancare e la CO₂ contenuta nel legno viene rilasciata nell'atmosfera, alimentando in tal modo l'effetto serra.
- Allevamento del bestiame: i bovini e gli ovini producono grandi quantità di metano durante il processo di digestione. Lo sviluppo di allevamenti intensivi causa un forte incremento di gas serra emessi nell'atmosfera.
- Fertilizzanti azotati: i fertilizzanti azotati producono emissioni di ossido di azoto.
- Gas Fluorurati o FGAS: i gas fluorurati causano un potente effetto serra. La legislazione dell'UE ne prevede la graduale eliminazione. Sono usati in impianti fissi di refrigerazione, di condizionamento d'aria e pompe di calore, commutatori di alta tensione, apparecchiature contenenti solventi, impianti fissi di protezione antincendio ed estintori.

4.4.2 Normativa e pianificazione di riferimento

Protocollo di Kyoto

Il Protocollo di Kyoto è un accordo internazionale per contrastare il riscaldamento climatico.

Il trattato climatico, di natura volontaria, è stato sottoscritto l'11 dicembre 1997 durante la Conferenza delle parti di Kyoto (la COP3) ma è entrato in vigore solo il 16 febbraio 2005 grazie dalla ratifica del Protocollo da parte della Russia (che era avvenuta nel precedente novembre 2004).

Infatti, perché il trattato potesse entrare in vigore era necessario che venisse ratificato da non meno di 55 Nazioni, e che queste stesse Nazioni firmatarie complessivamente rappresentassero non meno del 55% delle emissioni serra globali di origine antropica: un obiettivo raggiunto proprio grazie alla sottoscrizione della Russia. Il Protocollo di Kyoto impegnava i Paesi sottoscrittori (le "Parti") ad una riduzione quantitativa delle proprie emissioni di gas ad effetto serra rispetto ai propri livelli di emissione del 1990 (baseline), in percentuale diversa da Stato a Stato: per fare questo le Parti sono tenute a realizzare un sistema nazionale di monitoraggio delle emissioni ed assorbimenti di gas ad effetto serra ("Inventario Nazionale delle emissioni e degli assorbimenti dei gas a effetto serra") da aggiornare annualmente, insieme alla definizione delle misure per la riduzione delle emissioni stesse.

I gas climalteranti (GHG - GreenHouse Gases) oggetto degli obiettivi di riduzione sono:

- la CO₂ (anidride carbonica), prodotta dall'impiego dei combustibili fossili in tutte le attività energetiche e industriali oltre che nei trasporti;
- il CH₄ (metano), prodotto dalle discariche dei rifiuti, dagli allevamenti zootecnici e dalle coltivazioni di riso;
- l'N₂O (protossido di azoto), prodotto nel settore agricolo e nelle industrie chimiche;
- gli HFC (idrofluorocarburi), impiegati nelle industrie chimiche e manifatturiere;
- i PFC (perfluorocarburi), impiegati nelle industrie chimiche e manifatturiere;

- l'SF6 (esafluoruro di zolfo), impiegato nelle industrie chimiche e manifatturiere.

Accordo di Parigi

Nel dicembre 2015, alla conferenza sul clima di Parigi (COP21), 195 paesi hanno adottato il primo accordo universale e giuridicamente vincolante sul clima mondiale. Tale accordo definisce un piano d'azione globale volto a mantenere l'aumento medio della temperatura mondiale ben al di sotto di 2°C rispetto ai livelli preindustriali. Il 5 ottobre l'UE ha formalmente ratificato l'accordo di Parigi, consentendo la sua entrata in vigore il 4 novembre 2016 ed impegnandosi a ridurre le emissioni di gas ad effetto serra di almeno il 40% entro il 2030 (anno base 1990). Per tale motivo, il quadro legislativo del sistema ETS dell'UE per il prossimo periodo di scambio è stato rivisto all'inizio del 2018, in linea con il quadro delle politiche per il clima e l'energia per il 2030 e come parte del contributo dell'UE all'accordo di Parigi del 2015.

La revisione si incentra sui seguenti aspetti:

- rafforzare l'EU-ETS come stimolo agli investimenti, aumentando il tasso di riduzione delle emissioni al 2,2% annuo a partire dal 2021;
- rafforzare la riserva stabilizzatrice del mercato (il meccanismo istituito dall'UE nel 2015 per ridurre l'eccedenza di quote di emissioni nel mercato del carbonio e migliorare la resilienza dell'EU ETS agli shock futuri);
- proseguire con l'assegnazione gratuita di quote a garanzia della competitività internazionale dei settori industriali esposti al rischio di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio (carbon leakage), garantendo al tempo stesso che le regole per determinare l'assegnazione gratuita siano mirate e riflettano il progresso tecnologico;
- aiutare l'industria e il settore energetico a rispondere alle sfide dell'innovazione e degli investimenti richiesti dalla transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio attraverso vari meccanismi di finanziamento.

Obiettivi della commissione europea di riduzione gas serra

L'UE si è prefissa obiettivi per ridurre progressivamente le sue emissioni di gas a effetto serra fino al 2050. Gli obiettivi fondamentali in materia di clima e di energia sono stabiliti nel:

- Pacchetto per il clima e l'energia 2020,
- Quadro 2030 per il clima e l'energia

Tali obiettivi sono stati definiti per avviare l'UE verso un'economia climaticamente neutra, come indicato nella strategia a lungo termine per il 2050 e proposto nell'ambito della legge sul clima.

L'UE segue i progressi ottenuti nella riduzione delle emissioni grazie a una regolare attività di monitoraggio e di relazione.

L'UE si è posta l'obiettivo di diventare una società resiliente ai cambiamenti climatici entro il 2050 e pienamente adeguata agli impatti che inevitabilmente comporteranno. Il piano per conseguire tale obiettivo è definito nella strategia dell'UE sull'adattamento ai cambiamenti climatici.

Quadro 2030 per il clima e l'energia

Nell'ambito del Green Deal europeo, nel settembre 2020 la Commissione ha proposto di elevare l'obiettivo della riduzione delle emissioni di gas serra per il 2030, compresi emissioni e assorbimenti, ad almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990.

Ha preso in considerazione tutte le azioni necessarie in tutti i settori, compresi un aumento dell'efficienza energetica e dell'energia da fonti rinnovabili, e avvierà il processo per formulare proposte legislative dettagliate nel luglio 2021 al fine di mettere in atto e realizzare questa maggiore ambizione.

Ciò consentirà all'UE di progredire verso un'economia climaticamente neutra e di rispettare gli impegni assunti nel quadro dell'accordo di Parigi aggiornando il suo contributo determinato a livello nazionale

Gli obiettivi chiave per il 2030 sono:

- una riduzione almeno del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990)
- una quota almeno del 32% di energia rinnovabile
- un miglioramento almeno del 32,5% dell'efficienza energetica.

L'obiettivo della riduzione del 40% dei gas serra è attuato mediante il sistema di scambio di quote di emissione dell'UE, il regolamento sulla condivisione degli sforzi con gli obiettivi di riduzione delle emissioni degli Stati membri, e il regolamento sull'uso del suolo, il cambiamento di uso del suolo e la silvicoltura. In tal modo tutti i settori contribuiranno al conseguimento dell'obiettivo del 40% riducendo le emissioni e aumentando gli assorbimenti.

A norma del regolamento sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima, l'UE ha adottato norme integrate per garantire la pianificazione, il monitoraggio e la comunicazione dei progressi compiuti verso il conseguimento dei suoi obiettivi in materia di clima ed energia per il 2030 e degli impegni internazionali assunti nel quadro dell'accordo di Parigi.

Strategia a lungo termine per il 2050

Il 28 novembre 2018 l'UE ha presentato la sua visione strategica a lungo termine per un'economia prospera,

moderna, competitiva e climaticamente neutra entro il 2050.

La strategia evidenzia come l'Europa possa avere un ruolo guida per conseguire un impatto climatico zero, investendo in soluzioni tecnologiche realistiche, coinvolgendo i cittadini e armonizzando gli interventi in settori fondamentali, quali la politica industriale, la finanza o la ricerca, garantendo nel contempo equità sociale per una transizione giusta.

Facendo seguito agli inviti formulati dal Parlamento europeo e dal Consiglio europeo, la visione della Commissione per un futuro a impatto climatico zero interessa quasi tutte le politiche dell'UE ed è in linea con l'obiettivo dell'accordo di Parigi di mantenere l'aumento della temperatura mondiale ben al di sotto i 2°C e di proseguire gli sforzi per mantenere tale valore a 1,5°C.

4.4.3 Normativa a livello nazionale

Strategia Energetica Nazionale 2017 (SEN2017)

Con D.M. del Ministero dello Sviluppo Economico e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, è stata adottata la Strategia Energetica Nazionale 2017, il piano decennale del Governo italiano per anticipare e gestire il cambiamento del sistema energetico.

La SEN2017 è il risultato di un processo articolato e condiviso durato un anno che ha coinvolto, sin dalla fase istruttoria, gli organismi pubblici operanti sull'energia, gli operatori delle reti di trasporto di elettricità e gas e qualificati esperti del settore energetico. Nella fase preliminare sono state svolte due audizioni parlamentari, riunioni con i gruppi parlamentari, le Amministrazioni dello Stato e le Regioni. La proposta di Strategia è stata quindi posta in consultazione pubblica per tre mesi, con una ampia partecipazione: oltre 250 tra associazioni, imprese, organismi pubblici, cittadini e esponenti del mondo universitario hanno

formulato osservazioni e proposte, per un totale di 838 contributi tematici, presentati nel corso di un'audizione parlamentare dalle Commissioni congiunte Attività produttive e Ambiente della Camera e Industria e Territorio del Senato.

L'Italia ha raggiunto in anticipo gli obiettivi europei, con una penetrazione di rinnovabili del 17,5% sui consumi complessivi al 2015 rispetto al target del 2020 di 17%. Sono stati, inoltre, compiuti importanti progressi tecnologici che offrono nuove possibilità di conciliare contenimento dei prezzi dell'energia e sostenibilità.

La Strategia si pone l'obiettivo di rendere il sistema energetico nazionale più:

- competitivo: migliorare la competitività del Paese, continuando a ridurre il gap di prezzo e di costo
- dell'energia rispetto all'Europa, in un contesto di prezzi internazionali crescenti;
- sostenibile: raggiungere in modo sostenibile gli obiettivi ambientali e di de-carbonizzazione definiti a livello europeo, in linea con i futuri traguardi stabiliti nella COP21;
- sicuro: continuare a migliorare la sicurezza di approvvigionamento e la flessibilità dei sistemi e delle
- infrastrutture energetiche, rafforzando l'indipendenza energetica dell'Italia.

Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 (PNIEC)

Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 è uno strumento fondamentale che segna l'inizio di un

importante cambiamento nella politica energetica e ambientale del nostro Paese verso la decarbonizzazione.

Il Piano si struttura in 5 linee d'intervento, che si svilupperanno in maniera integrata: dalla decarbonizzazione all'efficienza e sicurezza energetica, passando attraverso lo sviluppo del mercato interno dell'energia, della ricerca, dell'innovazione e della competitività.

L'obiettivo è quello di realizzare una nuova politica energetica che assicuri la piena sostenibilità ambientale, sociale ed economica del territorio nazionale e accompagni tale transizione.

A dicembre 2018 è stata inviata alla Commissione europea la bozza del Piano, predisposta sulla base di analisi tecniche e scenari evolutivi del settore energetico svolte con il contributo dei principali organismi pubblici operanti sui temi energetici e ambientali (GSE, RSE, Enea, Ispra, Politecnico di Milano).

A giugno 2019 la Commissione europea ha formulato le proprie valutazioni e raccomandazioni sulle proposte di Piano presentate dagli Stati membri dell'Unione, compresa la proposta italiana, valutata, nel complesso, positivamente. Nel corso del 2019, inoltre, è stata svolta un'ampia consultazione pubblica ed è stata eseguita la Valutazione ambientale strategica del Piano.

Infine, il Piano è stato oggetto di proficuo confronto con le Regioni e le Associazioni degli Enti Locali, le quali, il 18 dicembre 2019, hanno infine espresso un parere positivo a seguito del recepimento di diversi e significativi suggerimenti.

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha pubblicato il 21 gennaio del 2020 il testo del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima, predisposto con il Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare e il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, che recepisce le novità contenute nel Decreto-legge sul Clima nonché quelle sugli investimenti per il Green New Deal previste nella Legge di Bilancio 2020.

Il PNIEC è stato inviato alla Commissione europea in attuazione del Regolamento (UE) 2018/1999, completando così il percorso avviato nel dicembre 2018, nel corso del quale, come sopra esposto, il Piano è stato oggetto di un proficuo confronto tra le istituzioni coinvolte, i cittadini e tutti gli stakeholder.

Con il Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima vengono stabiliti gli obiettivi nazionali al 2030 sull’efficienza energetica, sulle fonti rinnovabili e sulla riduzione delle emissioni di CO₂, nonché gli obiettivi in tema di sicurezza energetica, interconnessioni, mercato unico dell’energia e competitività, sviluppo e mobilità sostenibile, delineando per ciascuno di essi le misure che saranno attuate per assicurarne il raggiungimento. Gli obiettivi del Piano sono:

- a) accelerare il percorso di decarbonizzazione, considerando il 2030 come una tappa intermedia verso una decarbonizzazione profonda del settore energetico entro il 2050 e integrando la variabile ambiente nelle altre politiche pubbliche;
- b) mettere il cittadino e le imprese (in particolare piccole e medie) al centro, in modo che siano protagonisti e beneficiari della trasformazione energetica e non solo soggetti finanziatori delle politiche attive; ciò significa promozione dell’autoconsumo e delle comunità dell’energia rinnovabile, ma anche massima regolazione e massima trasparenza del segmento della vendita, in modo che il consumatore possa trarre benefici da un mercato concorrenziale;
- c) favorire l’evoluzione del sistema energetico, in particolare nel settore elettrico, da un assetto centralizzato a uno distribuito basato prevalentemente sulle fonti rinnovabili;
- d) adottare misure che migliorino la capacità delle stesse rinnovabili di contribuire alla sicurezza e, nel contempo, favorire assetti, infrastrutture e regole di mercato che, a loro volta contribuiscano all’integrazione delle rinnovabili;
- e) continuare a garantire adeguati approvvigionamenti delle fonti convenzionali, perseguendo la sicurezza e la continuità della fornitura, con la consapevolezza del progressivo calo di fabbisogno di tali fonti convenzionali, sia per la crescita delle rinnovabili che per l’efficienza energetica;
- f) promuovere l’efficienza energetica in tutti i settori, come strumento per la tutela dell’ambiente, il miglioramento della sicurezza energetica e la riduzione della spesa energetica per famiglie e imprese;
- g) promuovere l’elettrificazione dei consumi, in particolare nel settore civile e nei trasporti, come strumento per migliorare anche la qualità dell’aria e dell’ambiente;
- h) accompagnare l’evoluzione del sistema energetico con attività di ricerca e innovazione che, in coerenza con gli orientamenti europei e con le necessità della decarbonizzazione profonda, sviluppino soluzioni idonee a promuovere la sostenibilità, la sicurezza, la continuità e l’economicità di forniture basate in modo crescente su energia rinnovabile in tutti i settori d’uso e favoriscano il riorientamento del sistema produttivo verso processi e prodotti a basso impatto di emissioni di carbonio che trovino opportunità anche nella domanda indotta da altre misure di sostegno;
- i) adottare, anche tenendo conto delle conclusioni del processo di Valutazione Ambientale Strategica e del connesso monitoraggio ambientale, misure e accorgimenti che riducano i potenziali impatti negativi della trasformazione energetica su altri obiettivi parimenti rilevanti, quali la qualità dell’aria e dei corpi idrici, il contenimento del consumo di suolo e la tutela del paesaggio;
- j) continuare il processo di integrazione del sistema energetico nazionale in quello dell’Unione.

Direttiva NEC sui limiti di emissione

Il Decreto Legislativo 30 maggio 2018, n. 81, rappresenta l’attuazione della Direttiva UE 2016/2284.

Si tratta della cosiddetta Direttiva NEC (Nationale Emission Ceiling) concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici.

La finalità è quindi il miglioramento della qualità dell'aria tramite la riduzione delle emissioni per le emissioni atmosferiche antropogeniche degli Stati membri dei seguenti inquinanti:

- biossido di zolfo (SO₂),
- ossidi di azoto (NO_x),
- composti organici volatili non metanici (COVNM),
- ammoniaca (NH₃),
- particolato fine (PM_{2,5})
- altre sostanze inquinanti (metalli pesanti, IPA, Benzo(a)pirene, diossine/furani, ...).

Tale direttiva impone l'elaborazione, l'adozione e l'attuazione di programmi nazionali di controllo e monitoraggio. Come indicato all'art. 1 comma 2 del D. Lgs. 81 del 30/05/2018:

"Il presente decreto è finalizzato a perseguire:

- gli obiettivi di qualità dell'aria e un avanzamento verso l'obiettivo a lungo termine di raggiungere livelli
- di qualità dell'aria in linea con gli orientamenti pubblicati dall'Organizzazione mondiale della sanità;
- gli obiettivi dell'Unione europea in materia di biodiversità e di ecosistemi, in linea con il Settimo programma di azione per l'ambiente;
- la sinergia tra le politiche in materia di qualità dell'aria e quelle inerenti i settori responsabili di emissioni
- interessate dagli impegni nazionali di riduzione, comprese le politiche in materia di clima e di energia."

Decreto-legge n. 111 del 14/10/2019

Considerata l'urgenza e necessità di adottare una politica strategica nazionale che permetta di fronteggiare l'emergenza climatica e tenuto conto dei lavori svolti a livello internazionale dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), che evidenziano come la variabilità climatica sia strettamente legata alle attività umane e come le temperature e le emissioni di CO₂ continueranno progressivamente a crescere il 14 ottobre 2019 è stato emanato il Decreto Legge n. 111 "Misure urgenti per il rispetto degli obblighi previsti dalla direttiva 2008/50/CE sulla qualità dell'aria e proroga del termine di cui all'articolo 48, commi 11 e 13, del decreto-legge 17 ottobre 2016, n. 189, convertito, con modificazioni, dalla legge 15 dicembre 2016, n. 229. (19G00125) (GU Serie Generale n.241 del 14-10-2019).

4.4.4 Emissioni di gas serra

Livello nazionale

L'ISPRA, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, è responsabile della redazione dell'inventario nazionale delle emissioni di gas serra, attraverso la raccolta, l'elaborazione e la diffusione dei dati. L'inventario viene correntemente utilizzato per verificare il rispetto degli impegni che l'Italia ha assunto a livello internazionale nell'ambito della Convenzione quadro sui cambiamenti climatici.

Nel caso in esame attraverso i dati forniti dall'ISPRA sulle emissioni, è stato possibile ricavare le emissioni dei gas ad effetto serra, ed in particolare di CO₂, generate dal trasporto stradale sul territorio nazionale.

Il documento preso come riferimento, fornito dall'ISPRA è il "National Inventory Report 2022", dal quale è stato possibile individuare i valori medi annui delle emissioni di gas serra, espressi come CO2 equivalente, generate dal settore "Trasporto stradale" dal 1990 al 2020.

Livello nazionale

L'ISPRA, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, è responsabile della redazione dell'inventario nazionale delle emissioni di gas serra, attraverso la raccolta, l'elaborazione e la diffusione dei dati. L'inventario viene correntemente utilizzato per verificare il rispetto degli impegni che l'Italia ha assunto a livello internazionale nell'ambito della Convenzione quadro sui cambiamenti climatici. Nel caso in esame attraverso i dati forniti dall'ISPRA sulle emissioni, è stato possibile ricavare le emissioni dei gas ad effetto serra, ed in particolare di CO2, generate dal trasporto stradale sul territorio nazionale. Il documento preso come riferimento, fornito dall'ISPRA è il "National Inventory Report 2022", dal quale è stato possibile individuare i valori medi annui delle emissioni di gas serra, espressi come CO2 equivalente, generate dal settore "Trasporto stradale" dal 1990 al 2020.

Inventario Nazionale Italiano Emissioni dei Gas Serra 1990-2020 Emissioni di gas serra [kt CO2 equivalente]											
Gas serra	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CO2	92332	103532	111524	117112	104659	98347	96863	92744	95773	96604	77832
CH4	867	976	730	470	279	208	194	182	180	18	148
N2O	838	1612	1488	1025	944	891	894	865	891	900	737
Totale	94037	106120	113743	118607	105881	99445	97952	93791	96844	97690	78717

Tabella 4.13: Emissioni nazionali di CO2 equivalente nel settore dei trasporti stradali (Fonte: Inventario nazionale delle emissioni di gas serra 2022 - ISPRA)

Livello regionale

Per analizzare i valori di emissione a livello regionale si è fatto riferimento ai dati dell'Inventario Regionale delle Emissioni in atmosfera fornito da ARPA Umbria relativo al 2018 (ultimo anno disponibile). I valori di emissione di CO2 e CH4 registrati a livello regionale, suddivisi per macrosettore, sono riportati nella seguente tabella.

Studio atmosferico

Macrosettori	CO ₂ (t/anno)	CH ₄ (t/anno)
Combustione nell'industria dell'energia	503986	121
Riscaldamento	2099322	10581
Combustione industriale	1527834	107
Processi senza combustione	869566	20
Estrazione e distribuzione dei combustibili fossili	88	4557
Uso di solventi	0	0
Trasporti stradali	1980014	152
Altre sorgenti mobili	55650	3
Trattamento e smaltimento rifiuti	1483	9042
Agricoltura	0	8623
Natura	879	3
Totale	7038822	33209

Tabella 4.14: Emissioni annue di gas serra per macrosettore, Regione Umbria (Fonte elaborazione dati Inventario Regionale delle Emissioni in atmosfera – ARPA Umbria 2018)

5 MODELLI DI CALCOLO PER LE SIMULAZIONI

5.1 CALPUFF MODEL SYSTEM

Il sistema di modelli CALPUFF MODEL SYSTEM, inserito dall’U.S. EPA in Appendix A di “Guideline on Air Quality Models”, è stato sviluppato da Sigma Research Corporation, ora parte di Earth Tech, Inc, con il contributo di California Air Resources Board (CARB).

Il sistema di modelli è composto da tre componenti:

- Il preprocessore meteorologico CALMET: utile per la ricostruzione del campo tridimensionale di vento e temperatura all’interno del dominio di calcolo;
- Il processore CALPUFF: modello di dispersione, che ‘inserisce’ le emissioni all’interno del campo di vento generato da Calmet e ne studia il trasporto e la dispersione;
- Il postprocessore CALPOST: ha lo scopo di processare i dati di output di CALPUFF, in modo da renderli nel formato più adatto alle esigenze dell’utente.

CALMET è un preprocessore meteorologico di tipo diagnostico, in grado di riprodurre campi tridimensionali di vento e temperatura e campi bidimensionali di parametri descrittivi della turbolenza. È adatto a simulare il campo di vento su domini caratterizzati da orografia complessa. Il campo di vento viene ricostruito attraverso stadi successivi, in particolare un campo di vento iniziale viene rielaborato per tenere conto degli effetti orografici, tramite interpolazione dei dati misurati alle centraline di monitoraggio e tramite l’applicazione di specifici algoritmi in grado di simulare l’interazione tra il suolo e le linee di flusso. Calmet è dotato, infine, di un modello micrometeorologico per la determinazione della struttura termica e meccanica (turbolenza) degli strati inferiori dell’atmosfera.

CALPUFF è un modello di dispersione a puff’ multi-strato non stazionario. È in grado di simulare il trasporto, la dispersione, la trasformazione e la deposizione degli inquinanti, in condizioni meteorologiche variabili spazialmente e temporalmente. CALPUFF è in grado di utilizzare campi meteorologici prodotti da CALMET, oppure, in caso di simulazioni semplificate, di assumere un campo di vento assegnato dall’esterno, omogeneo all’interno del dominio di calcolo. CALPUFF contiene diversi algoritmi che gli consentono, opzionalmente, di tenere conto di diversi fattori, quali: l’effetto scia dovuto agli edifici circostanti (building downwash) o allo stesso camino di emissione (stack-tipdownwash), shear verticale del vento, deposizione secca ed umida, trasporto su superfici d’acqua e presenza di zone costiere, presenza di orografia complessa, ecc. CALPUFF è infine in grado di trattare diverse tipologie di sorgente emissiva, in base essenzialmente alle caratteristiche geometriche: sorgente puntiforme, lineare, areale, volumetrica.

CALPOST consente di elaborare i dati di output forniti da CALPUFF, in modo da ottenere i risultati in un formato adatto alle esigenze dell’utente. Tramite Calpost si possono ottenere dei file di output direttamente interfacciabili con software grafici per l’ottenimento di mappe di concentrazione.

5.2 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.

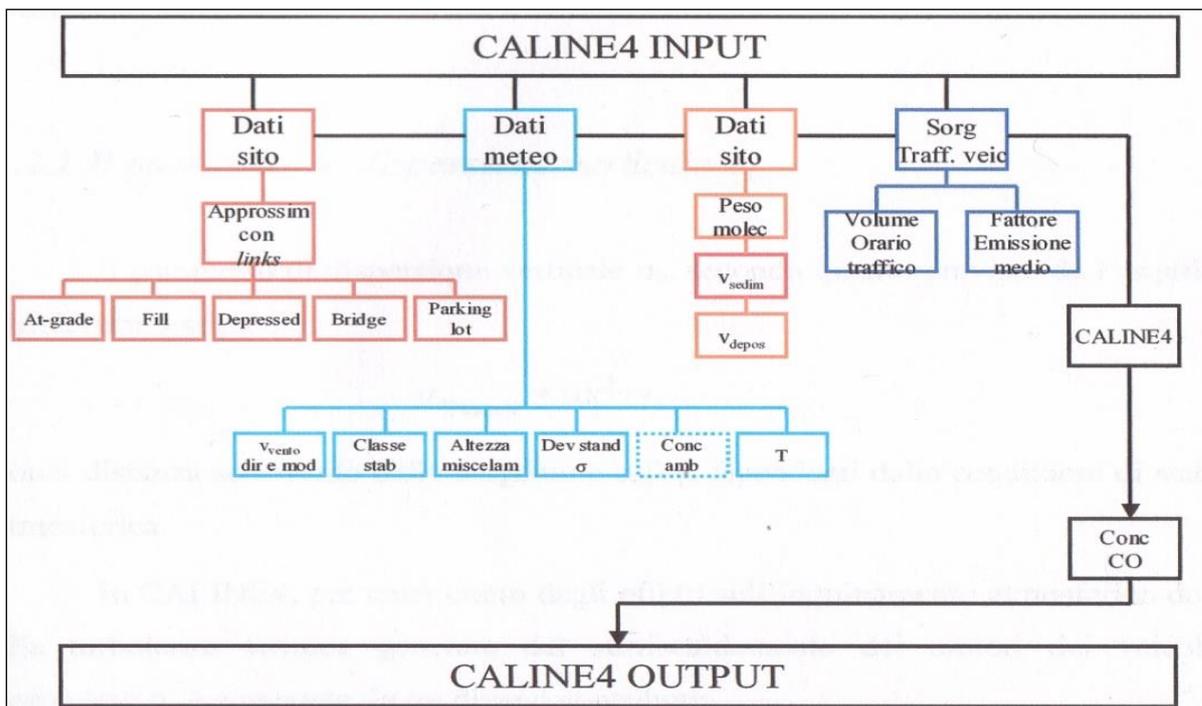


Figura 5.1: Schema a blocchi INPUT/OUTPUT del codice CALINE

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.

Studio atmosferico

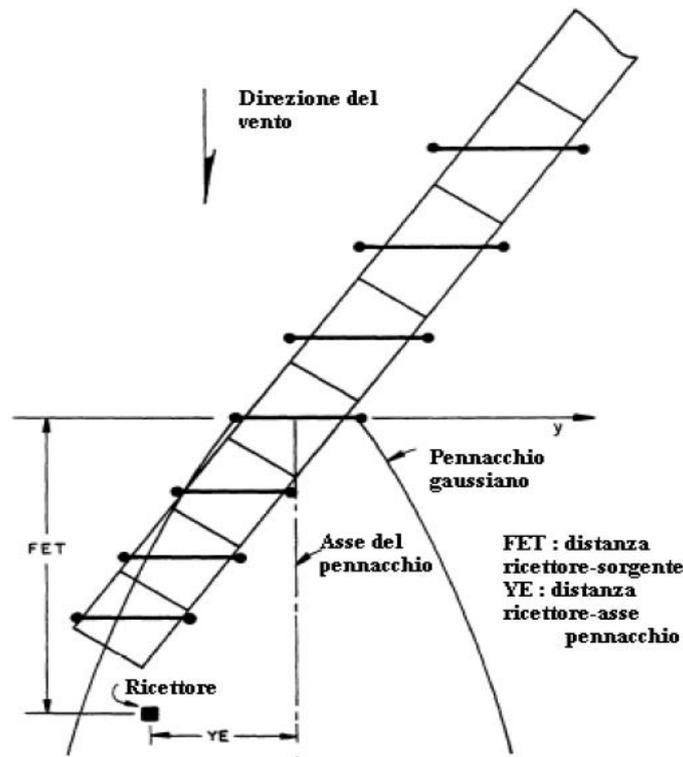


Figura 5.2: Schematizzazione della sorgente in CL4

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. È possibile simulare sia tratti in trincea che sezioni elevate o ponti, oltre che stimare gli impatti generati da parcheggi posti a livello del terreno.

È 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.

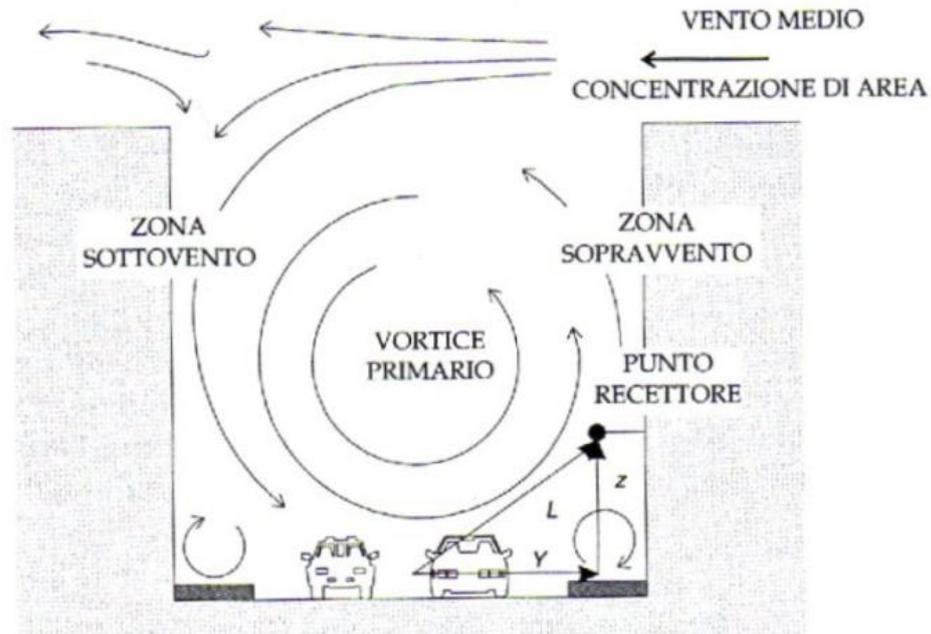


Figura 5.3: Caratteristiche geometriche e di circolazione dell'aria in un canyon urbano.

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)

Studio atmosferico

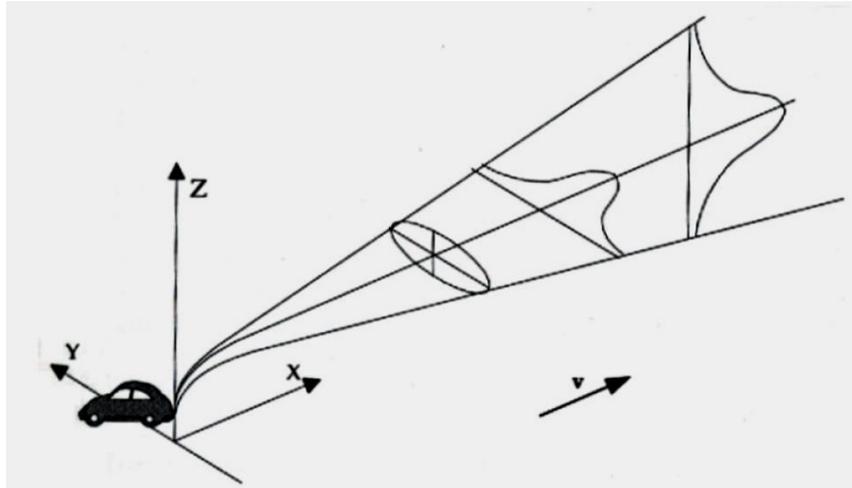


Figura 5.4: Schema della dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento

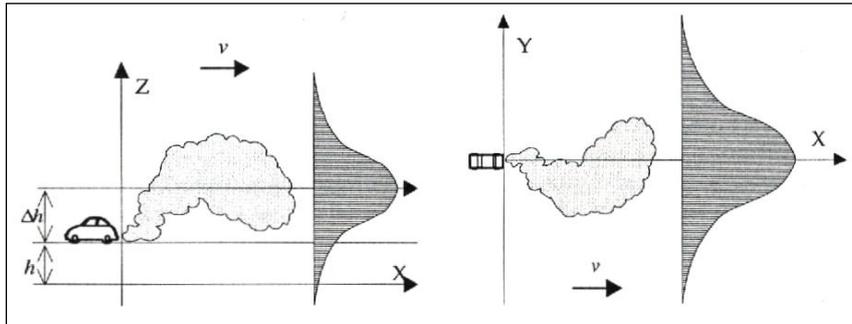


Figura 5.5: Vista dei piani (x, z) e (x, y) dello schema di dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento

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:

- stazionarietà delle emissioni: si assume che le emissioni siano costanti;
- 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;
- assenza di reazioni chimiche nell'atmosfera che interessino gli inquinanti e fenomeni di dispersione al suolo;
- 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

- 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 (sz), 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:

$$sz = sz(l) + sz(M) + sz(F)$$

sz(l), sz(M), sz(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 sz(M), che ad una distanza dipendente dal parametro di dispersione orizzontale sy si esauriscono, conferendo alla dispersione il tipico andamento gaussiano indicato da Pasquill:

$$sz(P) = axb + g$$

con X distanza sottovento dalla sorgente (Km) e a, b, g dipendenti dalle condizioni di stabilità atmosferica.

Il parametro di dispersione orizzontale (sy), 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:

$$sy = sq * X * F(T, tL)$$

sq= deviazione standard della direzione del vento orizzontale;

X= distanza sottovento alla sorgente;

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

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

Dove T' è il tempo di diffusione necessario perché la funzione raggiunga il valore F=0.5 e T' ∝ tL.

6 DOMINIO DI CALCOLO E RECETTORI

6.1 DOMINIO DI CALCOLO

L'area di studio è stata individuata in una porzione di territorio di estensione pari a 4.6 km in direzione EST-OVEST e di 4.0 km in direzione NORD-SUD.

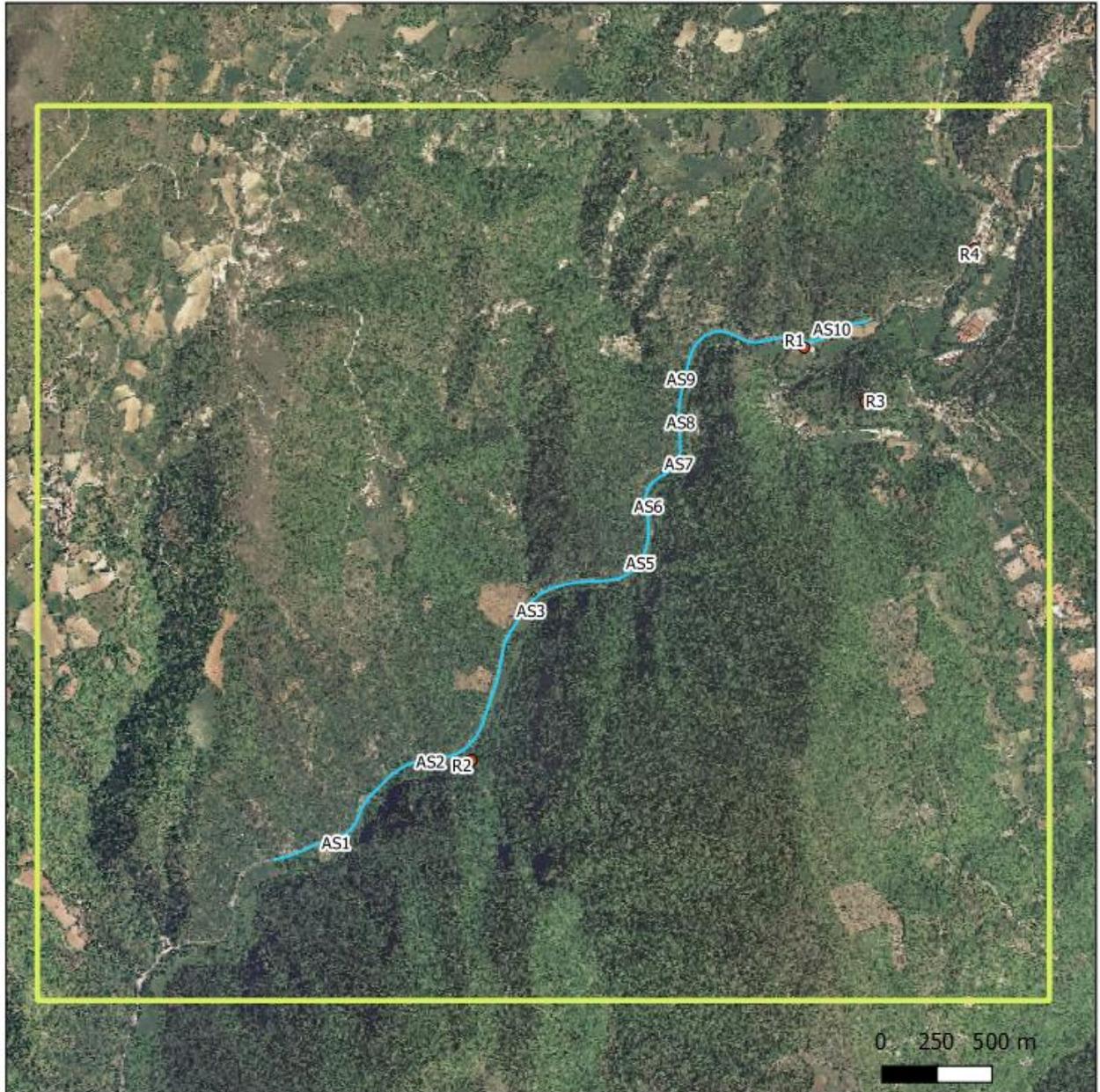


Figura 6.1: Dominio di calcolo

6.2 RECETTORI PUNTUALI

Al fine di stimare i valori di concentrazione dei parametri allo studio e confrontarli con i dati di qualità dell'aria si è provveduto ad individuare, nell'ambito urbanizzato del dominio e lungo il tracciato, alcuni punti recettori.

ID	tipologia	UTM WGS84 F33 X [m]	UTM WGS84 F33 Y [m]
R1	Abitazione	328685.099	4741692.542
R2	Abitazione	327173.449	4739801.379
R3	Abitazione	328964.118	4741444.887
R4	Abitazione	329458.994	4742144.225

7 SCENARIO DI CANTIERE

Il presente elaborato tecnico è rivolto anche alla valutazione dell'impatto potenziale sulla qualità dell'aria delle attività legate alla fase di cantierizzazione dell'opera. La relazione tecnica contiene la descrizione della metodologia di analisi, quantificazione e stima degli impatti delle attività interne al cantiere di stoccaggi delle terre.

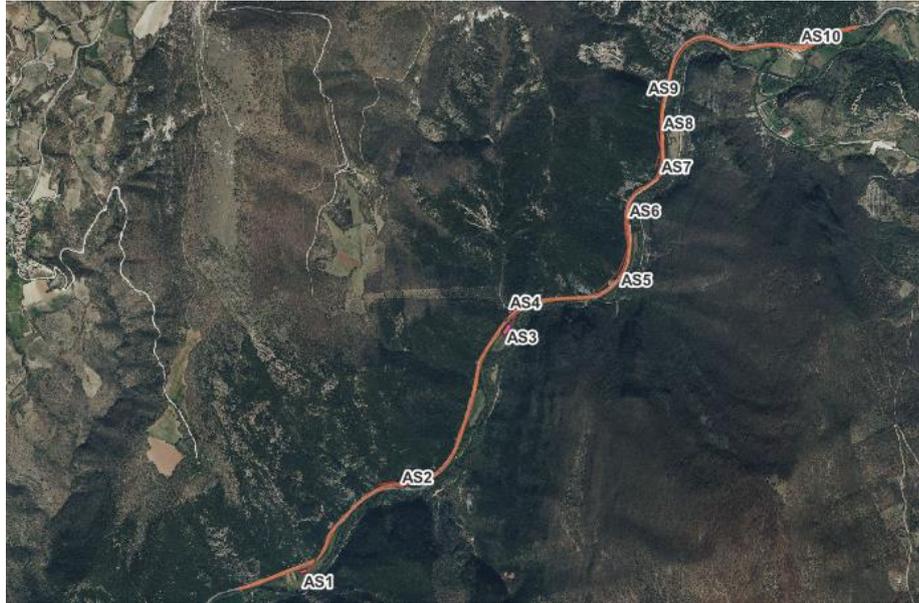


Figura 7.1: Ubicazione aree di stoccaggio cantierizzazione

Al fine di caratterizzare correttamente le simulazioni per la stima dell'impatto sulla qualità dell'aria durante lo stoccaggio si è proceduto alla valutazione delle seguenti variabili e parametri:

- Caratteristiche tecniche dei singoli cantieri
- Cronoprogramma dell'opera
- Quantitativi di materiali stoccati derivanti da elaborati tecnici di progetto

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

Una volta valutati gli scenari è possibile fare riferimento ad uno o più scenari, ritenuti maggiormente critici. È infatti possibile, ad esempio, definire le attività maggiormente critiche all'interno di un singolo cantiere ed assumere che tali attività si svolgano per tutta la durata del cantiere.

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

Lo studio dei parametri sopra descritti ha portato a definire e quindi simulare lo scenario che per materiali stoccati e lavorazioni porta a condizioni di massima emissione.

Le due fasi hanno rispettivamente durata di rispettivamente 10 e 9 mesi per 10 ore giornaliere di lavoro.

Nome cantiere	Area m2	Materiale stoccato m3
AS1	500	16043.29
AS2	345	11069.87
AS3	1000	32086.58
AS4	230	7379.91
AS5	290	9305.11
AS6	225	7219.48
AS7	190	6096.45
AS8	85	2727.36
AS9	245	7861.21
AS10	355	11390.74

Tabella 7.1: Caratteristiche delle aree di cantiere

In relazione alla natura delle sorgenti possono essere individuati, quali indicatori del potenziale impatto delle stesse sulla qualità dell'aria, **le polveri: PM10** (polveri inalabili, le cui particelle sono caratterizzate da un diametro inferiore ai 10 μm) caratteristiche della movimentazione e stoccaggio delle terre

Le simulazioni sono state svolte con il codice CALPUFF MODEL SYSTEM, con la meteorologia per l'anno 2022 utilizzata per le simulazioni in fase di esercizio e sullo stesso dominio di calcolo.

7.1 STIMA DELLE EMISSIONI PER LA FASE DI CANTIERE

Per la stima di tali valori si è fatto riferimento alle "Linee Guida per la Valutazione delle Emissioni di Polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti", redatte da ARPAT previa convenzione con la Provincia di Firenze, che propongono metodi di stima delle emissioni di polveri principalmente basati su dati e modelli dell'Agenzia di protezione ambientale degli Stati Uniti (US-EPA: AP-42 "Compilation of Air Pollutant Emission Factors").

Tali linee guida introducono i metodi di stima delle emissioni di particolato di origine diffusa prodotte dalle attività di trattamento degli inerti e dei materiali polverulenti in genere, e le azioni e le opere di mitigazione che si possono effettuare, anche ai fini dell'applicazione del D.Lgs 152/06 (Allegato V alla Parte 5°, Polveri e sostanze organiche liquide, Parte 1: Emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti).

I metodi di valutazione proposti nelle Linee guida ARPAT provengono principalmente da dati e modelli dell'US-EPA (AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors) All'interno del documento AP-42 sono riportati tutti i fattori di emissione riguardanti le principali sorgenti, dagli impianti industriali, agli impianti estrattivi, sino alle operazioni di costruzioni civili; si rimanda per la consultazione della trattazione originaria, in particolare degli algoritmi di calcolo, e qualora sorgessero dubbi interpretativi.

Di seguito si dettagliano i calcoli utilizzati per la stima delle emissioni di polveri dalle attività di cantiere.

Attività di scarico del materiale

Per la fase di scarico è stato considerato il fattore SCC 3-05-010-42 "Truck unloading: Bottom-Dump-Overburden" pari a 0,0005 Kg/t di PM10 per tonnellata di materiale scaricato. Per il fattore del PM2.5 si considera una quota pari al 20% del PM10.

Fattore: PM10: 0.0005 kg/t

Fattore: PM2.5: 0.0001 kg/t

Formazione e stoccaggio cumuli

Il fattore di emissione utilizzato per la stima della polverosità generata dalle attività di formazione e stoccaggio cumuli prende in considerazione le attività di sollevamento delle polveri per via eolica dei cumuli (si sottolinea che tale circostanza risulta in realtà considerata a scopo cautelativo) ed è il seguente:

$$E = k \cdot (0,0016) \cdot \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}}$$

Dove:

k = costante adimensionale variabile in funzione della dimensione delle particelle:

k= 0.35 per il calcolo di PM10

U = velocità media del vento (m/s)

M = umidità del materiale accumulato (%)

La suddetta formula empirica garantisce una stima attendibile delle emissioni considerando valori di U e M compresi nel range di valori (ben rappresentativo della situazione oggetto di studio) specificati nella tabella seguente.

Studio atmosferico

Parametro	Range
Velocità del vento	0,6 – 6.7 m/s
Umidità del materiale	0,25 – 4,8 %

Nel caso in esame, la velocità del vento è stata cautelativamente assunta pari a 6,5 m/s: tale valore descrive la peggiore situazione riscontrabile in sito, compatibilmente con l'intervallo di applicabilità della formula sopra riportata. Tale valore appare ampiamente cautelativo. L'umidità del materiale è assunta pari a 4%. Le quantità di materiale da movimentare sono state individuate dall'analisi congiunta degli elaborati e planimetrie di progetto. Si riportano di seguito i fattori di emissione associati alle operazioni di formazione e stoccaggio cumuli:

Fattore PM10: 0.0008677286 Kg/t

Fattore PM2.5 0.0003 kg/t

Erosione del vento dei cumuli

Facendo riferimento a quanto riportato nel paragrafo 1.4 delle Linee guida ARPAT ed applicando la seguente formula si può determinare il coefficiente di emissione per il PM10 che è pari a 0,0002 kg/h.

$$E_{Fi}(\text{kg/h}) = E_{Fi} \cdot a \cdot mvh$$

Il valore sopra riportato è stato impostando un'altezza del cumulo pari a 2 m, ipotizzandolo conico con un diametro di 5.6 m e con una superficie laterale di circa 30 m². Il rapporto tra altezza del cumulo e diametro è superiore a 0.2 quindi il cumulo è considerato "alto" e il fattore di emissione risulta pari a 7.9x10⁻⁶ kg/m²

Fattore PM10: 0,00024 Kg/h (trascurabile)

Fattore PM2.5: 0.00003 Kg/h (trascurabile)

Traffico di mezzi pesanti nelle aree non pavimentate

Per la stima delle emissioni di polvere generate dal traffico veicolare per azione del risollevarlo nelle aree non pavimentate è stato utilizzato il seguente fattore di emissione:

$$E = k \cdot \left(\frac{S}{12}\right)^a \cdot \left(\frac{W}{3}\right)^b \quad [\text{kg/km}]$$

dove:

W = peso medio dei mezzi di cantiere che percorrono le aree considerate (t)

S = contenuto del limo dello strato superficiale delle aree non pavimentate (%)

Il contenuto di limo è stato assunto pari al 14 %, conforme all'intervallo di valori compresi tra l'1,8% e il 25,2% e coerente con quanto indicato nelle Linee Guida ARPAT. I valori di K, a e b sono stati assunti:

per PM10: K= 0.423, a= 0.900, b= 0.450

Si riportano di seguito i fattori di emissione associati al passaggio su aree non pavimentate:

I Km medi percorsi sono stati stimati a partire dall'estensione media del percorso nelle aree non pavimentate secondo la viabilità ipotizzata (desunta a partire dalla consultazione congiunta degli elaborati grafici di progetto), moltiplicata per il numero dei mezzi stimati durante la specifica attività in esame. Il

peso medio dei mezzi di cantiere (W) che percorrono le aree considerate viene considerato pari a 28 t. Pertanto, il fattore di emissione per le polveri PM10 che si può utilizzare è riportato di seguito. Per il fattore del PM2.5 si considera una quota pari al 20% del PM10.

FE passaggio su piste non pavimentate (PM10) = 1.33 kg/Km

FE passaggio su piste non pavimentate (PM10) = 0.266 kg/Km

Emissioni da gas di scarico camion e mezzi d'opera (PM₁₀, NO_x)

Con riferimento all'emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi meccanici e degli automezzi in circolazione sulle piste di cantiere e sulla viabilità principale, si aggiungono anche le PM10, da traffico veicolare. Per la stima dei fattori di emissione delle macchine e dei mezzi d'opera impiegati è stato fatto riferimento al database del programma di calcolo COPERT III ed all'Atmospheric Emission Inventory Guidebook dell'EEA. All'interno del documento è possibile individuare dati relativi ai seguenti macchinari principali (Other Mobile SouRes and Machinery – SNAP 0808XX): Si precisa che i mezzi su elencati non funzioneranno mai tutti contemporaneamente, ma si alterneranno durante le varie fasi di lavoro e le attività previste.

sorgenti emmissive	PM10	PM10	NOX	U.M.	Fonte
Macchine operatrici	0,28	0,28	3,5	gr/h*kW	EEA-BV810v3-Other Mobile SouRes and Machinery – SNAP 0808XX tabella 8.5a

Tabella 7.2: Fattori di emissione per mezzi d'opera di cantiere.

Per la stima delle emissioni dei mezzi operatrici, è stato fatto uso dei fattori di emissione della tabella precedente considerando un fattore specifico, Load-specific fuel consumption, riferito alle modalità di lavoro delle macchine pari al 30% come riportato in letteratura (fonte: Fuel consumption and engine load factors of equipment in quarrying of crushed stone Tomislav Korman, Trpimir Kujundžić Mario Klanfar February 2016 <https://www.researchgate.net/publication/296573614>). Per i mezzi pesanti in transito sulle piste di cantiere i fattori di emissione degli scarichi sono stati desunti per mezzi pesanti dal sito di ISPRA Inventaria – fattori di emissione medi per mezzi pesanti (Heavy Duty Trucks) anno 2020.

inquinante	Fattore di emissione medi (g/km*veic)
PM10	0,139338
PM2.5	0,139338
NOX	2,597047

Tabella 7.3: Fattori di emissione (fonte Ispra).

Nella seguente tabella si riportano i fattori di emissione considerati ed utilizzati nelle simulazioni per il calcolo delle emissioni di PM10.

Fattori di Emissione	PM10	UM
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov

Studio atmosferico

formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t
scarico	0,0005	kg/t
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW

Tabella 7.4: Fattori di emissione per operazioni di cantiere

Nella seguente tabella si mostrano le emissioni per ognuna delle aree di cantiere considerate.

Riepilogo della stima delle emissioni

AREE di CANTIERE/LAVORAZIONI	fattore emissione	UM	t/h	g/h
Cantiere AS1				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	4,39	3,95
scarico	0,0005	kg/t	4,39	2,19
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		58,40
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>139,93</i>
Cantiere AS2				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	3,03	2,72
scarico	0,0005	kg/t	3,03	1,51
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		40,29
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>119,39</i>
Cantiere AS3				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	8,78	7,90
scarico	0,0005	kg/t	8,78	4,39
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		116,81
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>206,20</i>
Cantiere AS4				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	2,02	1,81
scarico	0,0005	kg/t	2,02	1,01
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		26,8

Studio atmosferico

Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>104,15</i>
CantiereAS5				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	2,54	2,29
scarico	0,0005	kg/t	2,54	1,27
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		33,87
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>112,10</i>
Cantiere AS6				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	1,97	1,77
scarico	0,0005	kg/t	1,97	0,98
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		26,28
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>103,49</i>
Cantiere AS7				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	1,66	1,50
scarico	0,0005	kg/t	1,66	0,83
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		22,19
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>98,85</i>
Cantiere AS8				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	0,74	0,67
scarico	0,0005	kg/t	0,74	0,37
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		9,92
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>84,93</i>
Cantiere AS9				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	2,15	1,93
scarico	0,0005	kg/t	2,15	1,07
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		28,61
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>106,14</i>

Cantiere AS10				
erosione del vento dai cumuli	0,0000079	kg/mov		0,24
formazione e stoccaggio cumuli	0,000867	kg/t	3.11	2,80
scarico	0,0005	kg/t	3.11	1,55
traffico su aree non pavimentate	1,33	kg/km		41,46
Macchine operatrici	0,28	gr/h*kW		73,43
<i>totale</i>				<i>120,72</i>

7.2 MODELLO DI CALCOLO PER LA FASE DI CANTIERE

L'applicazione del codice di calcolo CALPUFF MODEL SYSTEM è stata sviluppata secondo quanto riportato di seguito per la parte di dispersione degli inquinanti. Nella tabella sono mostrate le principali impostazioni ed i necessari dati di ingresso per le simulazioni del periodo solare dell'anno 2022 per il codice CALPUFF.

Input	Simulazioni
Periodo	anno solare 2019
Dominio di calcolo	COMPUTATIONAL GRID: griglia di calcolo di 10 celle per 9 celle di passo 500 m per una estensione del dominio di 4.6 km in direzione N-S e 4.1 km in direzione E-W. SAMPLING GRID: griglia di campionamento dei risultati è di 46 celle per 41 celle di passo 0.1 km per una estensione del dominio di 4.6 km in direzione N-S e 4.1 km in direzione E-W.
Sorgenti Emissive	Le sorgenti di emissione sono state rappresentate sotto forma di più sorgenti volumetriche di circa 20 m ² ciascuna Le sorgenti lineari (strade) sono state rappresentate come sorgenti volumetriche poste a 25 metri lineari lungo l'asse stradale.
Simulazioni	
CALPUFF	Sono state effettuate simulazioni sulla base del campo di vento 3D determinato da CALMET su scala temporale oraria per il periodo di riferimento (anno 2022: 8760 ore) per la determinazione delle concentrazioni in aria degli inquinanti.

7.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER LA FASE DI CANTIERE

I risultati delle simulazioni condotte hanno portato alla stima delle concentrazioni di PM10, PM2,5 e NO2. In particolare, sono stati analizzati:

- le concentrazioni medie annue di PM10, PM2,5 ed NO2;
- il 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere di PM10, in considerazione del limite giornaliero per la protezione della salute umana da non superarsi per più di 35 giorni all'anno;
- il 99,8° percentile delle concentrazioni orarie di NO2, in considerazione del limite orario per la protezione della salute umana da non superarsi per più di 18 volte all'anno.

ID	tipologia	NO2 media annuale [µg/m³]	NO2 percentile 99.8° delle medie orarie [µg/m³]	PM10 media annuale [µg/m³]	PM10 percentile 90.4° delle medie giorno [µg/m³]	PM2.5 media annuale [µg/m³]
R1	Abitazione	2,39	23,21	0,625	1,50	0,33
R2	Abitazione	2,75	24,71	0,79	1,65	0,42
R3	Abitazione	1,76	23,17	0,46	1,25	0,24
R4	Abitazione	0,29	4.82	0,08	0,23	0,04

Tabella 7.5: valori di concentrazione stimanti dal modello nei punti recettori.

Al fine di valutare l'effettivo impatto sulla qualità dell'aria si sono calcolati i valori attesi considerando i valori di fondo misurati dalla stazione di qualità dell'aria presa a riferimento. Di seguito il dettaglio dei calcoli per ogni parametro allo studio.

ID	tipologia	NO2 media annuale [µg/m³]	Media annua di NO2 registrata dalla centralina [µg/m³]	NO2 media annuale [µg/m³]	Valore limite di QA [µg/m³]
R1	Abitazione	2.39	10	12.39	40
R2	Abitazione	2.75		12.75	
R3	Abitazione	1.76		11.76	
R4	Abitazione	0.29		10.29	

Tabella 7.6: valutazione della qualità dell'aria per NO2.

Studio atmosferico

ID	tipologia	PM10 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Media annua di PM10 registrata dalla centralina [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Valore limite di QA [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
R1	Abitazione	1.50	19	20.50	40
R2	Abitazione	1.65		20.65	
R3	Abitazione	1.25		20.25	
R4	Abitazione	0.23		19.23	

Tabella 7.7: valutazione della qualità dell'aria per le polveri PM10.

ID	tipologia	PM2.5 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Media annua di PM.25 registrata dalla centralina [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM2.5 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Valore limite di QA [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
R1	Abitazione	0.33	13	13.33	25
R2	Abitazione	0.42		13.42	
R3	Abitazione	0.24		13.24	
R4	Abitazione	0.04		13.04	

Tabella 7.8: Valutazione della qualità dell'aria per le polveri fini PM2.5.

7.4 BEST PRACTICE DA ADOTTARE DURANTE LA FASE DI CANTIERE

Durante lo svolgimento delle attività di cantiere si prevedono alcune best practice finalizzate ad abbattere la dispersione di polveri nell'atmosfera, nonché a ridurre le emissioni generate dai mezzi di cantiere.

Vengono di seguito individuate, quindi, diverse Best Practices da adottare:

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

8 SCENARIO DI ESERCIZIO

8.1 LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI E LE ANALISI CONDOTTE

Attraverso il software di simulazione CALINE4 è stato possibile determinare i valori di concentrazione degli inquinanti di interesse (NOX, NO2, CO, C6H6, PM10e PM2,5) e quantificare le modificazioni sulla qualità dell'aria prodotte dal nuovo tracciato in esame.

Sono stati simulati due scenari:

- scenario attuale,
- scenario di progetto.

Per ogni scenario, sono stati calcolati i valori di concentrazione degli inquinanti in prossimità dei ricettori puntuali e le curve di isoconcentrazione sull'intera maglia di calcolo, al fine di fornire una rappresentazione grafica delle concentrazioni per ogni inquinante e di confrontare i risultati relativi ai due scenari.

Prima di elaborare ed analizzare i risultati ottenuti dal modello di simulazione, nei paragrafi successivi vengono descritti i principali input relativi agli scenari considerati.

8.2 STIMA DELLE EMISSIONI

Uno degli elementi fondamentali per il calcolo dei fattori di emissione degli inquinanti, che rappresentano uno degli input del modello dispersivo, è la caratterizzazione del parco veicolare in termini di tipologia di veicoli ed entità di traffico. I dati utili a tale scopo sono dati ufficiali forniti direttamente dall'Automobile Club d'Italia (ACI). Si è fatto riferimento nello specifico alla rappresentazione del parco veicolare italiano relativa al 2021 ("Autoritratto 2021", ultimo anno disponibile).

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

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

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

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

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

Le tipologie veicolari che sono state considerate riguardano:

- autovetture, distinte per tipologia di alimentazione;

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

Relativamente allo scenario attuale, sono stati assunti come dati per la rappresentazione del parco veicolare esattamente quelli riportati nell' "Autoritratto 2021" fornito dall'ACI. Di seguito si riportano i dati in forma tabellare e grafica per ogni tipologia di veicolo.

Veicoli industriali leggeri Regione Umbria - Scenario attuale										
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non definito	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5	712	303	613	342	352	208	246	12	2788
	Non definito	63	1					2		66
BENZINA Totale		775	304	613	342	352	208	248	12	2854
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5	135	30	56	44	318	112	216		911
	Non definito	24	1							25
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		159	31	56	44	318	112	216		936
BENZINA E METANO	Fino a 3,5	43	23	44	46	489	768	776		2189
	Non definito	1						2		3
BENZINA E METANO Totale		44	23	44	46	489	768	778		2192
GASOLIO	Fino a 3,5	7053	3942	8289	12917	11809	7029	11317	10	62366
	Non definito	592	70	3	4	5	4	12		690
GASOLIO Totale		7645	4012	8292	12921	11814	7033	11329	10	63056
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5							48		48
IBRIDO BENZINA Totale								48		48
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5							97		97
IBRIDO GASOLIO Totale								97		97
METANO	Fino a 3,5	2		1	5	154	128	150		440
METANO Totale		2		1	5	154	128	150		440
NON DEFINITO	Fino a 3,5	1						1	1	3
	Non definito								1	1
NON DEFINITO Totale		1						1	2	4
TOTALE Umbria		8626	4370	9006	13358	13127	8249	12867	24	69627

Tabella 8.1: Suddivisione Autovetture, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Tabella 8.2: Suddivisione Veicoli industriali leggeri, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Tabella 8.3: Suddivisione Veicoli industriali pesanti, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Per quanto riguarda la definizione del parco veicolare futuro, rappresentativo dell'anno di riferimento dello scenario di progetto (2036) sono state effettuate delle ipotesi attendibili che tenessero in considerazione l'evoluzione e le nuove tecnologie che porteranno negli anni al rinnovamento del parco veicolare, in termini di emissioni generate. In particolare, si è assunto, in via cautelativa, che le sole classi Euro 0 ed Euro 1 venissero sostituite, aumentando la numerosità delle Euro 6. Questo assunto appare ampiamente cautelativo considerando che lo standard emissivo Euro 2 è stato codificato nel 1997 e pertanto risulta chiaro come un veicolo Euro 2 nel 2036 avrebbe minimo 39 anni.

Suddividendo il parco veicolare nelle stesse tipologie viste sopra per lo scenario attuale, di seguito si riporta la composizione veicolare ipotizzata per il 2036, sotto forma tabellare e grafica.

Studio atmosferico

Autovetture Regione Umbria - Scenario futuro									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
BENZINA	Fino a 1400	24.500	24.036	46.924	21.943	84.854	0	185	202.442
	1401 - 2000	6.147	3.199	5.947	1.831	14.946	0	33	32.103
	Oltre 2000	581	511	942	247	2.361	0	10	4.652
	Non definito	0	0	0	0	10	0	2	12
BENZINA Totale		31.228	27.746	53.813	24.021	102.171			
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 1400	1.264	1.304	11.278	7.450	18.136	0	3	39.435
	1401 - 2000	1.190	683	2.677	1.263	4.710	0	2	10.525
	Oltre 2000	75	77	181	7	183	0	1	524
	Non definito	0	0	1	0	0	0	0	1
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		2.529	2.064	14.137	8.720	23.029			
BENZINA E METANO	Fino a 1400	1.148	850	8.785	10.620	12.551	0	2	33.956
	1401 - 2000	554	598	1.628	48	980	0	2	3.810
	Oltre 2000	27	20	109	14	39	0	0	209
BENZINA E METANO Totale		1.729	1.468	10.522	10.682	13.570			
ELETTRICITA	Non contemplato	0	0	0	0	0	1.086		1.086
ELETTRICITA Totale									0
GASOLIO	Fino a 1400	53	6.045	28.908	16.860	12.715	0	1	64.582
	1401 - 2000	8.610	24.323	42.020	44.038	79.965	0	2	198.958
	Oltre 2000	4.514	6.654	6.808	4.679	10.558	0	2	33.215
	Non definito	0	0	0	0	3	0	0	3
GASOLIO Totale				77.736	65.577	103.241			246.554
IBRIDO BENZINA	Fino a 1400			5	57	5.415			5.477
	1401 - 2000			25	363	4.171			4.559
	Oltre 2000			11	16	555			582
IBRIDO BENZINA Totale				41	436	10.141			10.618
IBRIDO GASOLIO	1401 - 2000	0	0	0	36	1.040			1.076
	Oltre 2000	0	0	0	4	269			273
IBRIDO GASOLIO Totale					40	1.309			1.349
METANO	Fino a 1400	10	9	16	899	3.718			4.652
	1401 - 2000	3	42	913	360	1.703			3.021
	Oltre 2000	1	0	0	1	0			2
METANO Totale		14	51	929	1.260	5.421			7.675
ALTRE	Fino a 1400	0	0	0	0	11			11
ALTRE Totale						11			11
NON DEFINITO	Fino a 1400	0	0	1	0	9	0	0	10
	1401 - 2000	0	0	1	0	1	0	1	3
	Oltre 2000	0	1	0	0	0	0	0	1
	Non definito	0	0	0	0	3	0	0	3
NON DEFINITO Totale		0	1	2	0	13	0	1	17
TOTALE Umbria		48.677	68.352	157.180	110.736	258.906	1.086	246	645.183

Tabella 8.4: Suddivisione Autovetture prevista per il 2036, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Veicoli industriali leggeri Regione Umbria - Scenario futuro								
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5	613	342	352	208	1261	12	2788
	Non definito	0	0	0	0	66	0	66
BENZINA Totale		613	342	352	208	1327	12	2854
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5	56	44	318	112	381	0	911
	Non definito	0	0	0	0	25	0	25

Studio atmosferico

BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		56	44	318	112	406	0	936
BENZINA E METANO	Fino a 3,5	44	46	489	768	842	0	2189
	Non definito	0	0	0	0	3	0	3
BENZINA E METANO Totale		44	46	489	768	845	0	2192
GASOLIO	Fino a 3,5	8289	12917	11809	7029	22312	10	62366
	Non definito	3	4	5	4	674	0	690
GASOLIO Totale		8292	12921	11814	7033	22986	10	63056
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5	0	0	0	0	48	0	48
IBRIDO BENZINA Totale		0	0	0	0	48	0	48
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5	0	0	0	0	97	0	97
IBRIDO GASOLIO Totale		0	0	0	0	97	0	97
METANO	Fino a 3,5	1	5	154	128	152	0	440
METANO Totale		1	5	154	128	152	0	440
NON DEFINITO	Fino a 3,5	0	0	0	0	2	1	3
	Non definito	0	0	0	0	0	1	1
NON DEFINITO Totale		0	0	0	0	2	2	4
TOTALE Umbria		9006	13358	13127	8249	25863	24	69627

Tabella 8.5: Suddivisione Veicoli industriali leggeri prevista per il 2036, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Veicoli industriali pesanti Regione Umbria - Scenario futuro									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5	1	1	2	0	34	0	2	40
BENZINA Totale		1	1	2	0	34	0	2	40
BENZINA E GAS LIQUIDO	Oltre 3,5	2	1	2	0	3	0	0	8
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		2	1	2	0	3	0	0	8
ELETTRICITA	Non contemplato	0	0	0	0	0	44	0	44
ELETTRICITA Totale		0	0	0	0	0	44	0	44
GASOLIO	3,6 - 7,5	488	548	283	203	1608	0	11	3141
	7,6 - 12	369	368	60	153	1346	0	5	2301
	12,1 - 14	34	34	6	30	256	0	3	363
	14,1 - 20	327	381	55	225	753	0	4	1745
	20,1 - 26	481	521	64	421	1436	0	0	2923
	26,1 - 28	0	2	0	1	58	0	0	61
	28,1 - 32	121	255	27	130	128	0	0	661
GASOLIO Totale		1827	2116	497	1164	5618	0	23	11245
METANO	Oltre 3,5	0	1	0	18	42	0	0	61
METANO Totale		0	1	0	18	42	0	0	61
TOTALE Umbria		1830	2119	501	1182	5697	44	25	11398

Tabella 8.6: Suddivisione Veicoli industriali pesanti prevista per il 2036, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Autobus Regione Umbria - Scenario futuro								
USO	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
Noleggio	128	140	67	131	273	0	0	739
Privato	52	26	13	10	132	0	0	233
Pubblico	93	213	56	113	124	0	0	599
Altri usi	2	5	1	0	5	0	0	13
Non contemplato	0	0	0	0	0	17	0	17
TOTALE Umbria	275	384	137	254	534	17	0	1.601

Tabella 8.7: Suddivisione Autobus prevista per il 2036, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

8.2.1 I fattori di emissione

Parte centrale del metodo di stima delle concentrazioni è la definizione dei fattori di emissione. La metodologia all'interno del modello Copert lega i fattori di emissione alla velocità media tenuta dai veicoli attraverso leggi di regressione determinate empiricamente. Queste equazioni dipendono dal veicolo considerato, in termini di legislazione emissiva e tipologia di veicolo (autoveicolo, veicolo commerciale, cilindrata o peso del mezzo ecc.). Nel caso in esame, pertanto, una volta stimata la composizione del parco veicolare circolante è stato poi calcolato un fattore di emissione medio che aggregasse nei veicoli leggeri gli autoveicoli ed i veicoli commerciali leggeri, mentre nei veicoli pesanti i veicoli industriali pesanti, i trattori stradali e gli autobus.

Alle diverse categorie veicolari sono quindi state associate velocità differenti e fattori di emissione differenti. Effettuando poi la media pesata di questi valori è stato possibile determinare il fattore di emissione medio per la descrizione del parco veicolare complessivo. Il fattore di emissione rappresenta uno degli input di base del software Calroads, utilizzato per la stima delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera.

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

Con riferimento allo stato attuale, nella tabella seguente sono riportati i fattori di emissione relativi a NOx, CO, PM10 e PM2,5 ricavati a partire dagli output ottenuti da Copert 5.

Inquinanti	Fattore di emissione veicoli leggeri (g/km*veicolo)	Fattore di emissione veicoli pesanti (g/km*veicolo)
NOx	0,443	5,102
CO	0,611	1,246
PM10	0,013	0,152
PM2,5	0,008	0,091
C ₆ H ₆	0,534	0,755

Applicando lo stesso procedimento sopra indicato, per la definizione dei fattori di emissione degli inquinanti relativi all'anno 2036 per lo scenario di progetto è possibile far riferimento alla tabella sottostante.

Inquinanti	Fattore di emissione veicoli leggeri (g/km*veicolo)	Fattore di emissione veicoli pesanti (g/km*veicolo)
NOx	0,289	2,321
CO	0,182	0,546
PM10	0,007	0,044
PM2,5	0,004	0,026
C ₆ H ₆	0,039	0,185

Sulla base dei traffici stimati per i due scenari (scenario attuale e scenario di progetto) forniti dallo studio trasportistico, conoscendo le percentuali di veicoli leggeri e pesanti circolanti sui differenti rami della rete stradale, è stato possibile pesare i fattori di emissione sopra riportati, calcolando un fattore di emissione medio. Si evidenzia come il modello CALINE, per poter effettuare la stima delle concentrazioni, necessita di un fattore di emissione espresso in miglia. Pertanto, al fine di ottenere un valore compatibile con il modello, è stata effettuata la trasformazione da $g/km*veicoli$ a $g/miglia*veicolo$ ($1km=0,6214$ miglia) per ogni fattore di emissione medio.

8.2.2 Tracciato attuale e di progetto

Nella seguente figura è mostrato il tracciato sia dello stato attuale che quello in progetto. Tali tracciati sono stati utilizzati per svolgere la simulazione di dispersione degli inquinanti del traffico.

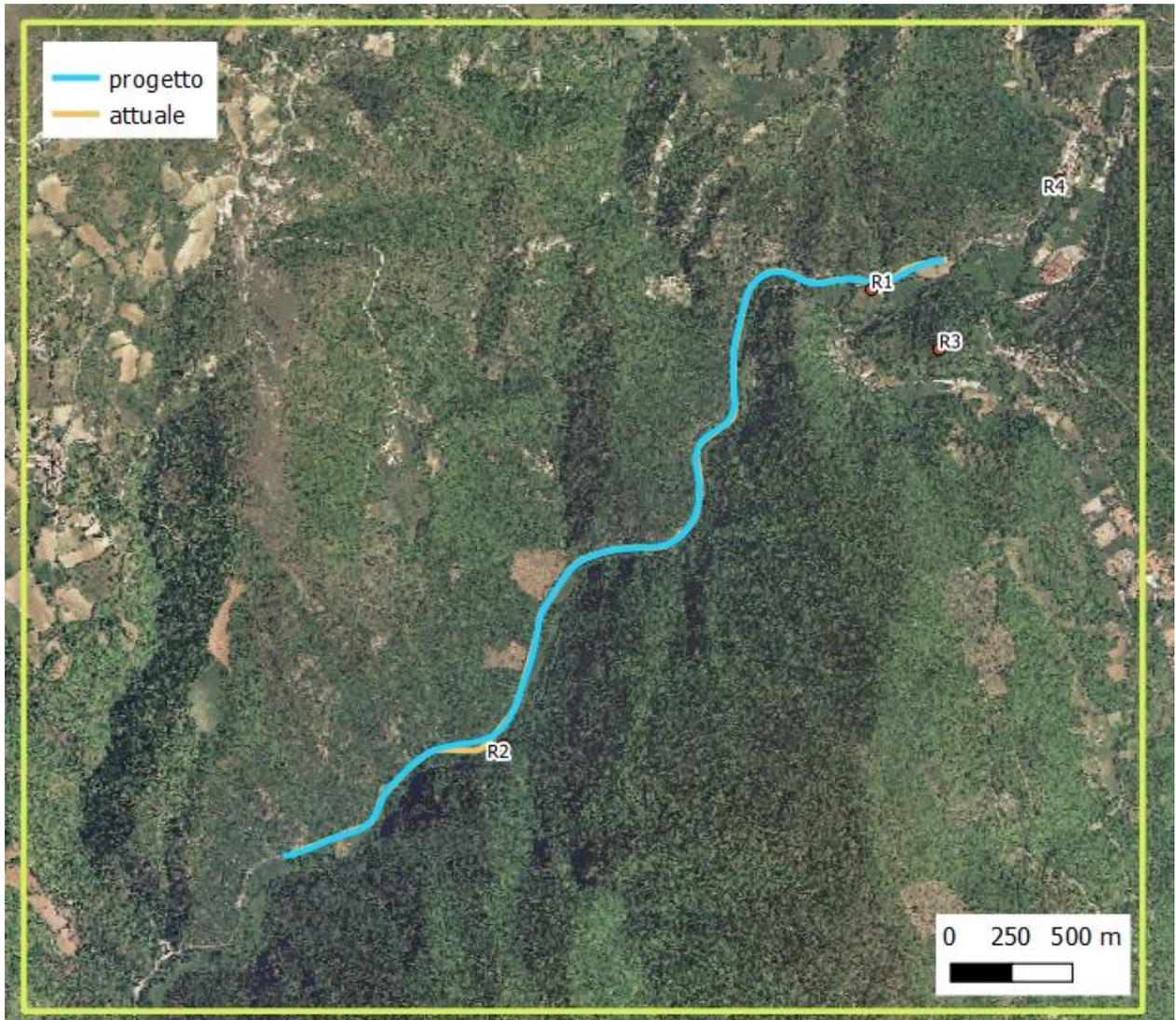


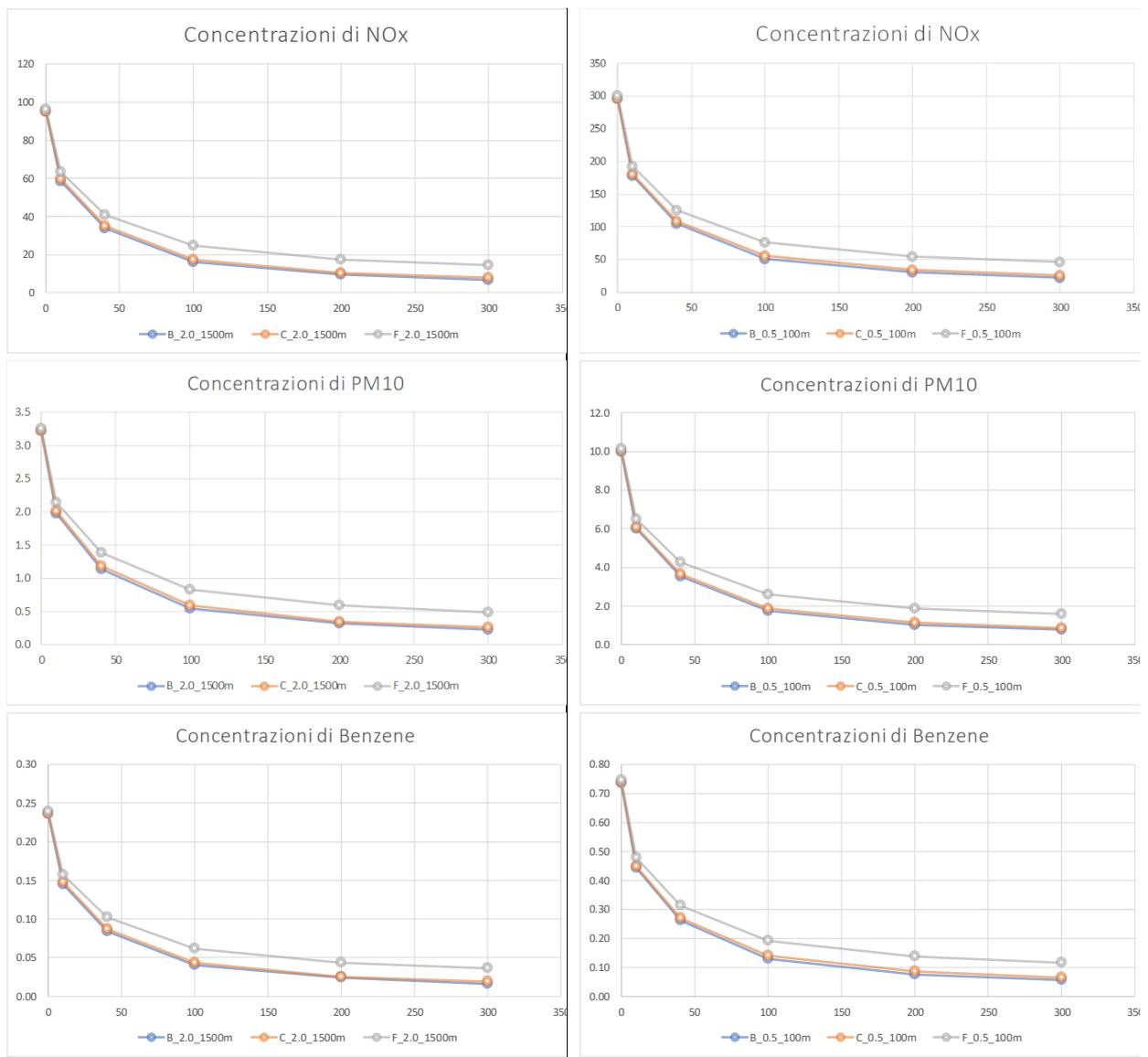
Figura 8.1: Tracciati stradali di progetto ed attuale

8.3 MODELLO DI CALCOLO PER LA FASE DI ESERCIZIO

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.

Tipologia di Strada	Aerodynamic Roughness Coefficient	Mixing Zone Height
Urbana	300 cm	12

Al fine di valutare le ricadute determinate dal traffico veicolare nel dominio di calcolo si è proceduto dapprima alla stima delle concentrazioni in funzione dei principali parametri meteorologici fissate le condizioni al contorno caratteristiche delle strade oggetto delle simulazioni.



Concentrazione di inquinanti espressa in ug/m³ come media oraria per l'ora di punta, a distanza variabile dal margine della strada per differenti classi di stabilità e fissata velocità del vento a 2 m/s e Hmix = 1500 metri sul livello del suolo.

Concentrazione di inquinanti espressa in ug/m³ come media oraria per l'ora di punta, a distanza variabile dal margine della strada per differenti classi di stabilità e fissata velocità del vento a 0.5 m/s e Hmix = 100 metri sul livello del suolo.

Si sono svolte simulazioni parametriche, di cui si riportano i risultati nelle seguenti tabelle e figure con il codice CALINE 4. Per fare questo si è presa a riferimento una delle strade contenute nel database definito con lo studio trasportistico ed in particolare un tratto di strada considerato per lo scenario attuale caratterizzato dai parametri di tabella. Inoltre, si è proceduto alla valutazione della variabilità dei risultati con la velocità del vento al fine di costruire una curva interpretativa del fenomeno in relazione al vento.

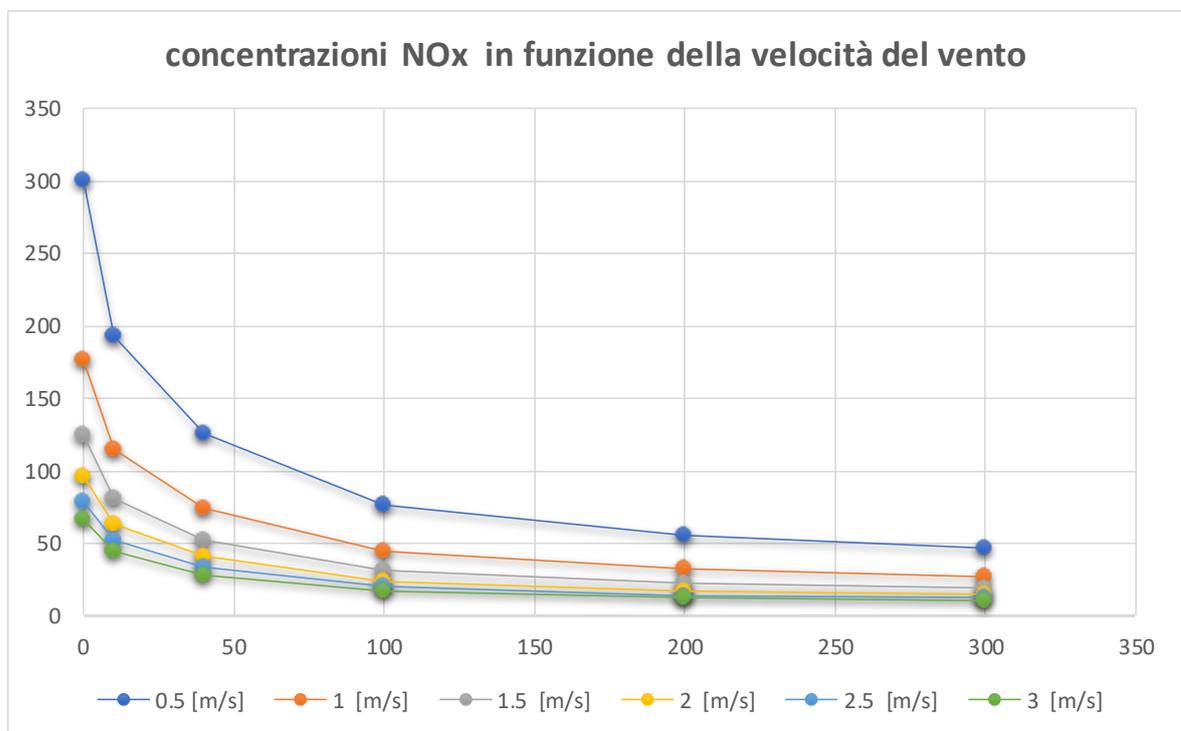


Figura 8.2: Concentrazione di NOx espressa in ug/m³ come media oraria per l'ora di punta, a distanza variabile dal margine della strada per differenti velocità del vento e fissata la Classe di Stabilità e l'altezza Hmix = 1500 metri sul livello del suolo.

È stato sviluppato un apposito algoritmo che permettesse di applicare il modello CALINE4 in modo sistematico ad un dominio di calcolo di grandi dimensioni (7.5 km x 5.5km) quale quello descritto ed individuato per queste simulazioni ed in relazione al consistente numero di archi viari (circa 900 strade) da considerare ed alla loro lunghezza (circa 90 km di rete stradale).

L'algoritmo permette di ottenere risultati delle simulazioni sull'intera estensione del dominio di calcolo che è suddiviso in una griglia regolare di passo cella 10 m x 10 m costituita da X: celle 480 e Y: celle 410.

I risultati basati sul calcolo del massimo orario per l'ora di punta, così come definito e desunto dallo studio trasportistico sono stati poi elaborati al fine di ottenere in ognuno dei punti recettori la serie temporale oraria su base annuale.

Per fare questo si sono estratti i dati puntuali nei 4 recettori per l'ora di punta e si è proceduto alla ricostruzione della serie temporale oraria sulla base di due criteri principali:

- la disaggregazione oraria del traffico veicolare per singola strada che influisce direttamente sul rateo emissivo.
- le condizioni meteorologiche che determinano la dispersione dell'inquinante che sono identificabili principalmente nella velocità del vento.

In pratica per ogni ora dell'anno solare si è proceduto a rivalutare la concentrazione stimata da CALINE nel singolo recettore per l'ora di punta sulla base del valore reale (studio trasportistico) del traffico e per il valore della velocità del vento in base ai risultati dello studio parametrico esposto in precedenza.

8.4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI FASE DI ESERCIZIO

I risultati delle simulazioni condotte hanno portato alla stima delle concentrazioni di PM10, PM2,5, NO2, Benzene e CO. In particolare, sono stati analizzati:

- le concentrazioni medie annue di PM10, PM2,5, Benzene ed NO2;
- il 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere di PM10, in considerazione del limite giornaliero per la protezione della salute umana da non superarsi per più di 35 giorni all'anno;
- il 99,8° percentile delle concentrazioni orarie di NO2, in considerazione del limite orario per la protezione della salute umana da non superarsi per più di 18 volte all'anno.
- Il valore massimo orario di CO.

8.4.1 Scenario attuale

I risultati delle simulazioni, svolte con CALINE4 considerando i dati meteorologici dell'anno 2022 e i fattori di emissione per lo scenario futuro sono riportati nelle seguenti tabelle.

ID	tipologia	NO2 media annuale [µg/m³]	NO2 percentile 99.8° delle medie orarie [µg/m³]	PM10 media annuale [µg/m³]	PM10 percentile 90.4° delle medie giorno [µg/m³]
R1	Abitazione	5.757	22.124	0.530	0.782
R2	Abitazione	1.747	6.713	0.161	0.237
R3	Abitazione	<0.005	<0.05	<1.0	<0.005
R4	Abitazione	<0.005	<0.05	<1.0	<0.005

Tabella 8.8: Valori di concentrazione stimanti dal modello nei punti recettori scenario attuale

ID	tipologia	Benzene media annuale [µg/m³]	PM2.5 media annuale [µg/m³]	CO massimo orario [µg/m³]
R1	Abitazione	0.036	0.460	75.547
R2	Abitazione	0.011	0.139	22.924

Studio atmosferico

R3	Abitazione	<0.005	<0.05	<1.0
R4	Abitazione	<0.005	<0.05	<1.0

Tabella 8.9: Valori di concentrazione stimanti dal modello nei punti recettori scenario attuale

8.4.2 Scenario futuro

I risultati delle simulazioni, svolte con CALINE4 considerando i dati meteorologici dell'anno 2022 e i fattori di emissione per lo scenario futuro sono riportati nelle seguenti tabelle.

ID	tipologia	NO2 media annuale [µg/m³]	NO2 percentile 99.8° delle medie orarie [µg/m³]	PM10 media annuale [µg/m³]	PM10 percentile 90.4° delle medie giorno [µg/m³]
R1	Abitazione	2.854	10.967	0.275	0.388
R2	Abitazione	0.756	2.905	0.073	0.103
R3	Abitazione	<0.1	<0.5	<0.01	<0.01
R4	Abitazione	<0.1	<0.5	<0.01	<0.01

Tabella 8.10: Valori di concentrazione stimanti dal modello nei punti recettori scenario futuro

ID	tipologia	Benzene media annuale [µg/m³]	PM2.5 media annuale [µg/m³]	CO massimo orario [µg/m³]
R1	Abitazione	0.018	0.228	37.449
R2	Abitazione	0.005	0.060	9.920
R3	Abitazione	<0.005	<0.05	<1.0
R4	Abitazione	<0.005	<0.05	<1.0

Tabella 8.11: Valori di concentrazione stimanti dal modello nei punti recettori scenario futuro

8.4.3 Stima dell'impatto sulla qualità dell'aria

Come dimostrato dai valori sopra riportati in tutti i punti recettori lo scenario futuro di progetto determina una diminuzione significativa delle concentrazioni stimate pertanto la valutazione di qualità dell'aria futura è in significativo miglioramento rispetto allo stato attuale descritto dalla stazione di Perugia presa a riferimento.

9 CONCLUSIONI

9.1 CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI ESERCIZIO

Lo studio condotto in merito all'analisi delle concentrazioni degli inquinanti nell'atmosfera, generati dall'esercizio del progetto in esame ed in particolare dal traffico veicolare previsto circolante sulla nuova infrastruttura, non ha rilevato criticità ambientali dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico.

Dall'analisi delle concentrazioni effettuata, si osserva una diminuzione delle concentrazioni tra lo stato attuale e lo scenario di progetto.

Tutti i valori si mantengono comunque al di sotto dei limiti normativi di riferimento per la protezione della salute umana e della vegetazione.

Pertanto, è possibile concludere che il progetto in esame, nella sua fase di esercizio, non comporta criticità in termini di inquinamento atmosferico sui ricettori prossimi alla nuova infrastruttura, in quanto i valori di concentrazione registrati in prossimità di questi rispettano sempre i valori soglia limite definiti in normativa.

9.2 CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI CANTIERE

Dalle analisi delle concentrazioni degli inquinanti prodotti dalle attività di cantiere (PM10, PM2,5, NOx e NO2) non sono emerse criticità in quanto i valori stimati risultano bassi e sempre coerenti con il limite imposto dalle normative per tutti gli inquinanti considerati.

Saranno comunque previsti dei punti di monitoraggio in fase di cantiere per verificare i livelli di emissioni in atmosfera durante i lavori.

Inoltre, con la finalità di minimizzare la diffusione degli inquinanti, si sottolinea l'impiego di Best Practice da adottare in fase di cantiere e descritte nel capitolo precedente.