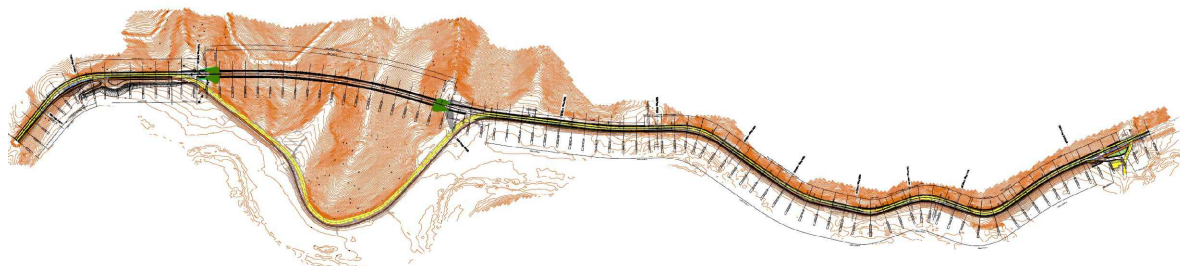


S.S. 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"

RETTIFICA DEL TRACCIATO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 41+500 al km 51+500
STRALCIO 1 - LAVORI DI ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 49+300 al km 51+500



PROGETTO DEFINITIVO

IMPRESA ESECUTRICE



GRUPPO DI LAVORO ANAS

PROGETTAZIONE



RESPONSABILE DEI LAVORI

IL PROGETTISTA

Ing. Valerio BAJETTI
Ordine degli Ingegneri della
provincia di Roma n°A26211
(Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA
IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio BAJETTI
Ordine degli Ingegneri della
provincia di Roma n°10112
(Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Alessandro MICHELI

PROTOCOLLO

DATA

N. ELABORATO:

R121

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

ANALISI AMBIENTALE - ARIA

Studio atmosferico

CODICE PROGETTO

PROGETTO

PG0374D2201

NOME FILE

T00_IA_03_AMB_RE_01

REVISIONE

SCALA:

CODICE
ELAB.

T00IA03AMBRE01

A

D

C

B

A

PRIMA EMISSIONE

MARZO
2023

ING. CAROLINA
BAJETTI

ING. GIANCARLO
TANZI

ING. VALERIO
BAJETTI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	6
2.1	PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI EUROPEI	6
2.2	PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI NAZIONALI	7
3	INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO	11
3.1	IL DATO STORICO: ANDAMENTO 1971-2000	11
3.2	IL DATO ATTUALE: 2021	36
3.3	IL CONFRONTO TRA IL DATO STORICO E L'ANNO DI RIFERIMENTO DELLE SIMULAZIONI	40
4	ANALISI EMISSIVA	46
4.1	ANALISI EMISSIVA A LIVELLO NAZIONALE	46
4.2	ANALISI EMISSIVA A LIVELLO REGIONALE	49
5	CAMBIAMENTO CLIMATICO E GAS SERRA	53
5.1	ASPETTI GENERALI DEL FENOMENO	53
5.2	NORMATIVA E PIANIFICAZIONE DI RIFERIMENTO	56
5.3	EMISSIONI DI GAS SERRA	62
6	ANALISI DELLO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	64
6.1	LA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA	64
6.2	ANALISI DEGLI INQUINANTI MONITORATI	70
6.2.1	OSSIDI E BIOSSIDI DI AZOTO	70
6.2.2	PARTICOLATO	74
6.2.3	MONOSSIDO DI CARBONIO	79
6.2.4	BENZENE	81
6.2.5	QUADRO SINOTTICO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	84
7	I MODELLI DI SIMULAZIONE UTILIZZATI	85
7.1	COPERT V	85
7.2	CALROADS	86
7.3	AERMOD VIEW	87
8	LE SIMULAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO	91
8.1	LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI E LE ANALISI CONDOTTE	91
8.2	GLI INPUT DEL MODELLO DI CALCOLO	91
8.2.1	INPUT METEOROLOGICI	91
8.2.2	INPUT PROGETTUALI	91
8.2.3	I RISULTATI DELL'ANALISI ALLO STATO ATTUALE	109
8.2.4	I RISULTATI DELL'ANALISI ALLO STATO DI PROGETTO	113
9	LE INTERFERENZE IN FASE DI CANTIERE	118
9.1	ASPETTI GENERALI	118
9.2	GLI INPUT DEL MODELLO DI CALCOLO	118
9.2.1	INPUT TERRITORIALI	118
9.2.2	INPUT PROGETTUALI	121
9.2.3	OUTPUT DELLE SIMULAZIONI	137

9.3	BEST PRACTICE DA ADOTTARE DURANTE LA FASE DI CANTIERE	142
10	CONCLUSIONI DELLO STUDIO	143
10.1	CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI ESERCIZIO	143
10.2	CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI CANTIERE	143

1 INTRODUZIONE

Il presente studio atmosferico, condotto nell'ambito della rettifica del tracciato e dell'adeguamento alla Sez. Tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500 della S.S. 685 "delle tre valli umbre", 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 aggravii 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 PM2,5;
- 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 distante circa 8 km dall'area di interesse, caratterizzata come "suburbana industriale", presso cui sono stati considerati i valori di PM10, PM2,5, NO_x e NO₂;
- la centralina di Spoleto – Piazza Vittoria, distante circa 9 km dall'area di intervento, 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 Calroads 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 Aermod View attraverso il quale è stato possibile ricreare gli scenari di cantieri ritenuti più critici (*Worst case scenario*) e stimare le concentrazioni di inquinanti (PM₁₀, PM_{2,5}, NO_x 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, sono stati selezionati due scenari critici (A e B) per cui sono state definite le sorgenti emissive 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 ISPRA¹.

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, PM_{2,5} NO_x 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.

Alla luce di quanto fin qui sinteticamente esposto, il presente documento è volto alla stima delle concentrazioni degli inquinanti di interesse generati dalla fase di esercizio e dalla fase di cantiere del progetto in esame, relativo alla rettifica del tracciato e all'adeguamento alla Sez. Tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500 della S.S. 685 "delle tre valli umbre", con la finalità di valutare il rispetto dei limiti normativi e di quantificare le interferenze tra l'opera in progetto e la componente atmosferica.

Nel prosieguo della trattazione sono riportate nel dettaglio le analisi atmosferiche.

¹ fetransp.isprambiente.it

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 PM_{2.5}, 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.

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

Inquinante	Indicatore Normativo	Periodo di mediazione	Valore stabilito	Margine tolleranza	n° sup. consentiti
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	40 µg/m ³	-	-
	Soglia di allarme	3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 kmq	400 µg/m ³	-	-
Ossidi di azoto NO_x	Livelli critici per la vegetazione	anno civile	30 µg/m ³	-	-
Particolato PM₁₀	Valore limite protezione salute umana	24 ore	50 µg/m ³	-	35
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	40 µg/m ³	-	-
Particolato fine PM_{2.5}	Valore limite protezione salute umana	anno civile	25 µg/m ³	-	-
Piombo	Valore limite protezione salute umana	anno civile	0,5 µg/m ³		
Benzene	Valore limite protezione salute umana	anno civile	5 µg/m ³	-	-
Monossido di carbonio	Valore limite protezione salute umana	massima media su 8h consecutive	10 mg/m ³	-	-
Arsenico	Valore obiettivo	anno civile	6 ng/m ³	-	-

Inquinante	Indicatore Normativo	Periodo di mediazione	Valore stabilito	Margine tolleranza	n° sup. consentiti
Cadmio	Valore obiettivo	anno civile	5 ng/m ³	-	-
Nichel	Valore obiettivo	anno civile	20 ng/m ³	-	-
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	anno civile	1 ng/m ³	-	-

Tabella 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 METEO-CLIMATICO

Il presente paragrafo è volto all'analisi meteoroclimatica dell'area di studio. Verrà quindi in primis analizzato, da un punto di vista "storico", l'area di intervento definendo le condizioni climatiche della stessa, lavorando con un arco temporale trentennale; successivamente verrà studiato il dato meteorologico attuale di riferimento (2021) che andrà utilizzato per realizzare le simulazioni modellistiche al fine di verificarne la coerenza con il dato storico. Così facendo sarà possibile validare il dato e verificare che le simulazioni effettuate non facciano riferimento ad "outliers" meteorologici che potrebbero inficiare l'intero processo di analisi.

Si sottolinea che non sono stati considerati i dati meteorologici relativi al 2022 in quanto presenti in percentuali minori rispetto a quanto indicato nel documento "Indicazioni relative all'utilizzo di tecniche modellistiche per la simulazione della dispersione di inquinanti negli studi di impatto sulla componente atmosfera" redatto da ARPA Lombardia, secondo il quale la percentuale di dati assenti/invalidi deve essere minore del 20 % sul totale dei dati meteo orari impiegati nelle simulazioni.

3.1 Il dato storico: andamento 1971-2000

Lo studio meteorologico è stato realizzato sulla base dei dati prelevati dall'Atlante Climatico dell'aeronautica Militare che raccoglie i dati relativi ad un arco temporale di un trentennio, permettendo così la ricostruzione, in termini medi, dell'andamento meteo climatico.

L'Atlante è gestito dall'Aeronautica Militare e risulta coerente con quanto espresso dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) dove il clima è definito come lo stato medio delle variabili fisiche atmosferiche, con riferimento ad uno specifico periodo temporale e ad un'area circoscritta. Nei paragrafi successivi verranno analizzati separatamente diversi indicatori climatici appartenenti a tre categorie: temperatura, precipitazioni e venti. Al fine di rendere comprensibili e facilmente leggibili tali indicatori, sono state riportate di seguito le legende.

Simbolo	Descrizione	U.M.
Tm	Temperatura media (max + min)/2	°C
Tx 1d	Temperatura massima media della 1a decade	°C
Tx 2d	Temperatura massima media della 2a decade	°C
Tx 3d	Temperatura massima media della 3a decade	°C
Txm	Temperatura massima media mensile	°C
Tn 1d	Temperatura minima media della 1a decade	°C
Tn 2d	Temperatura minima media della 2a decade	°C
Tn 3d	Temperatura minima media della 3a decade	°C
Tnm	Temperatura minima media mensile	°C
TxP85-15	Differenza fra 85° e 15° percentile della distribuzione delle temperature massime	°C
TnP85-15	Differenza fra 85° e 15° percentile della distribuzione delle temperature minime	°C
P99x (P99n)	99° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
P85x (P85n)	85° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
P15x (P15n)	15° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
P1x (P1n)	1° percentile della distribuzione delle temperature massime (minime)	°C
NgTn<=0	N° giorni con Tn (temperatura minima) <= 0 °C	(conteggio)
NgTn<=-5	N° giorni con Tn (temperatura minima) <= -5 °C	(conteggio)
NgTx>=25	N° giorni con Tx (temperatura massima) >= 25 °C	(conteggio)
NgTx>=30	N° giorni con Tx (temperatura massima) >= 30 °C	(conteggio)
GrGi>0	Gradi-giorno (Somme (Tm-S) solo se (Tm-S) > 0°), dove S = 0°C	°C
GrGi>5	Gradi-giorno (Somme (Tm-S) solo se (Tm-S) > 0°), dove S = 5°C	°C
GrGi_18	Gradi-giorno (Somme (S-Tm) solo se (S-Tm) > 0°), dove S = 18°C	°C
Txx	Temperatura massima assoluta	°C
An Txx	Anno in cui si è verificata Txx	
Tnn	Temperatura minima assoluta	°C
An Tnn	Anno in cui si è verificata Tnn	

Tabella 3-1 Indicatori della temperatura (fonte: Atlante Climatico Aeronautica Militare)

Per le precipitazioni e gli eventi correlabili, i principali indicatori sono stati riportati in Tabella 3-2.

Simbolo	Descrizione	U. M.
RTot	Precipitazione totale media mensile	mm
RQ0	Minimo della distribuzione in quintili delle precipitazioni	mm
RQ1	Primo quintile della distribuzione delle precipitazioni	mm
RQ2	Secondo quintile della distribuzione delle precipitazioni	mm
RQ3	Terzo quintile della distribuzione delle precipitazioni	mm
RQ4	Quarto quintile della distribuzione delle precipitazioni	mm
RQ5	Massimo della distribuzione in quintili delle precipitazioni	mm
Rx12a	Precipitazione massima fra le ore 00 e le 12 (ora UTC)	mm
Rx12b	Precipitazione massima fra le ore 12 e le 24 (ora UTC)	mm
Rx24	Precipitazione massima in 24 ore	mm
An Rx24	Anno in cui si è verificata Rx24	
Ng R>1	Numero medio di giorni al mese con precipitazioni > 1 mm	(conteggio)
Ng R>5	Numero medio di giorni al mese con precipitazioni > 5 mm	(conteggio)
Ng R>10	Numero medio di giorni al mese con precipitazioni > 10 mm	(conteggio)
Ng R>50	Numero medio di giorni al mese con precipitazioni > 50 mm	(conteggio)
Ng Fog	Numero medio di giorni al mese con nebbia	(conteggio)
Ux%	Media mensile dell'umidità percentuale massima	%
Un%	Media mensile dell'umidità percentuale minima	%
Ng h6 Nuv<=4	Numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa <= 4/8 alle ore 6	(conteggio)
Ng h6 Nuv>4	Numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa > 4/8 alle ore 6	(conteggio)
Ngh18 Nuv<=4	Numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa <= 4/8 alle ore 18	(conteggio)
Ngh18 Nuv>4	Numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa > 4/8 alle ore 18	(conteggio)

Tabella 3-2 Indicatori delle precipitazioni (Fonte: Atlante Climatico Aeronautica Militare)

Infine, in relazione alla distribuzione dei venti è possibile fare riferimento alla Tabella 3-3.

Simbolo	Descrizione	U. M.
HH	Orario	UTC
MM	Mese	
Calme	Percentuali dei casi di vento con intensità = 0 nodi	%
N1-10	Percentuali dei casi di vento da Nord con intensità tra 1 e 10 nodi	%
N11-20	Percentuali dei casi di vento da Nord con intensità tra 11 e 20 nodi	%
N>20	Percentuali dei casi di vento da Nord con intensità superiore a 20 nodi	%
NE1-10	Percentuali dei casi di vento da Nord-Est con intensità tra 1 e 10 nodi	%
NE11-20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Est con intensità tra 11 e 20 nodi	%
NE>20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Est con intensità superiore a 20 nodi	%
E1-10	Percentuali dei casi di vento da Est con intensità tra 1 e 10 nodi	%
E11-20	Percentuali dei casi di vento da Est con intensità tra 11 e 20 nodi	%
E>20	Percentuali dei casi di vento da Est con intensità superiore a 20 nodi	%
SE1-10	Percentuali dei casi di vento da Sud-Est con intensità tra 1 e 10 nodi	%
SE11-20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Est con intensità tra 11 e 20 nodi	%
SE>20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Est con intensità superiore a 20 nodi	%
S1-10	Percentuali dei casi di vento da Sud con intensità tra 1 e 10 nodi	%
S11-20	Percentuali dei casi di vento da Sud con intensità tra 11 e 20 nodi	%
S>20	Percentuali dei casi di vento da Sud con intensità superiore a 20 nodi	%
SW1-10	Percentuali dei casi di vento da Sud-Ovest con intensità tra 1 e 10 nodi	%
SW11-20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Ovest con intensità tra 11 e 20 nodi	%
SW>20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Ovest con intensità superiore a 20 nodi	%
W1-10	Percentuali dei casi di vento da Ovest con intensità tra 1 e 10 nodi	%
W11-20	Percentuali dei casi di vento da Ovest con intensità tra 11 e 20 nodi	%
W>20	Percentuali dei casi di vento da Ovest con intensità superiore a 20 nodi	%
NW1-10	Percentuali dei casi di vento da Nord-Ovest con intensità tra 1 e 10 nodi	%
NW11-20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Ovest con intensità tra 11 e 20 nodi	%
NW>20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Ovest con intensità superiore a 20 nodi	%
Vxx	Intensità massima del vento	KT

Tabella 3-3 Indicatori della distribuzione dei venti (Fonte: Atlante Climatico Aeronautica Militare)

Per realizzare le simulazioni modellistiche sono necessari i dati meteorologici che sono stati ottenuti dalle

stazioni meteo presenti nell'area di esame. Come stazione non è stata considerata quella più prossima alla zona di studio, situata sul Monte Terminillo, in quanto è posta a circa 1900 m di altitudine e quindi non si può considerare rappresentativa delle condizioni meteoroclimatiche dell'area in esame.

Pertanto, in coerenza alla scelta della stazione meteorologica per l'analisi del dato attuale, è stata considerata la stazione di Perugia, che dista dall'area di studio circa 47 chilometri e può essere ritenuta significativa e rappresentativa delle condizioni meteoroclimatiche dell'area in esame, in quanto, come riporta il documento dell'APAT *"Dati e informazioni per la caratterizzazione della componente Atmosfera e prassi corrente di utilizzo dei modelli di qualità dell'aria nell'ambito della procedura di V.I.A."*, le osservazioni rilevate dalle stazioni meteo dell'Aeronautica Militare sono rappresentative di un'area di circa 70 chilometri di raggio.

La stazione meteo di riferimento è inquadrata in Figura 3-1, con le seguenti coordinate:

- Lat: 43,09,
- Lng: 12,51.



Figura 3-1 Localizzazione stazione meteorologica di Perugia e area di intervento

Regime termico

Il primo aspetto analizzato nella trattazione del dato storico riguarda il regime termico. La Tabella 3-4 riporta i

dati principali circa le temperature nei tre decenni di analisi.

Mese	Tm	Tx1d	Tx2d	Tx3d	Txm	Tn1d	Tn2d	Tn3d	Tnm	TxP85-15	TnP85-15
Gen	4,8	8,3	8,5	9,8	8,9	0,5	0,3	0,9	0,6	7,0	8,6
Feb	6,0	10,9	10,5	11,5	10,9	0,8	1,2	1,1	1,1	7,4	8,3
Mar	8,4	12,6	14,3	15,3	14,1	1,7	2,5	3,7	2,6	8,3	7,6
Apr	11,0	16,5	15,9	18,1	16,8	5,1	4,3	5,9	5,1	8,4	6,7
Mag	15,7	20,4	22,2	23,5	22,1	8,1	9,4	10,2	9,3	8,2	5,5
Giu	19,4	25,1	25,7	27,5	26,1	11,9	12,4	13,5	12,6	7,8	5,6
Lug	22,6	29,0	30,0	30,9	30,0	14,5	15,2	15,7	15,2	6,6	4,9
Ago	22,8	31,3	30,5	28,3	30,0	16,1	15,8	15,0	15,6	8,0	5,0
Set	19,2	26,7	25,8	24,0	25,5	13,4	12,9	12,3	12,8	7,8	5,5
Ott	14,4	21,7	20,4	17,3	19,7	10,8	9,5	7,3	9,1	7,9	7,8
Nov	8,9	15,5	13,6	11,0	13,3	5,8	4,5	3,0	4,4	7,5	8,6
Dic	5,5	9,4	9,6	8,9	9,3	2,1	1,9	1,4	1,8	7,5	8,3
Mese	NgTn≤0	NgTn≤-5	NgTx≥25	NgTx≥30	GrGi>0	GrGi>5	GrGi_18	Txx	AnTx	Tnn	AnTn
Gen	13,2	3,2	0,0	0,0	153	10	413	17,0	1971	-15,8	1985
Feb	12,0	1,4	0,0	0,0	171	32	341	21,7	1991	-17,0	1991
Mar	7,6	0,6	0,0	0,0	263	108	302	25,2	1991	-8,3	1987
Apr	1,4	0,0	0,4	0,0	328	178	210	26,8	1998	-4,0	1995
Mag	0,0	0,0	7,9	0,0	489	333	81	30,8	1994	1,8	1979
Giu	0,0	0,0	18,9	4,8	571	423	17	35,6	1982	5,2	1986
Lug	0,0	0,0	29,1	17,1	704	548	1	38,8	1983	6,9	1971
Ago	0,0	0,0	27,6	16,0	695	542	2	38,9	1971	6,0	1985
Set	0,0	0,0	18,1	3,3	581	430	20	34,4	1982	3,6	1977
Ott	0,2	0,0	2,9	0,0	457	299	119	29,3	1985	-1,4	1974
Nov	4,4	0,5	0,0	0,0	264	116	271	23,8	1971	-8,2	1973
Dic	10,5	1,1	0,0	0,0	168	24	375	19,3	1989	-14,8	1996

Tabella 3-4 Regime Termico (Fonte: Atlante Climatico Aeronautica Militare)

Con riferimento alla temperatura media registrata nei tre decenni è possibile notare come le temperature siano comprese tra 4,8 °C e 22,8 °C, rispettivamente registrate nei mesi di gennaio e di agosto.

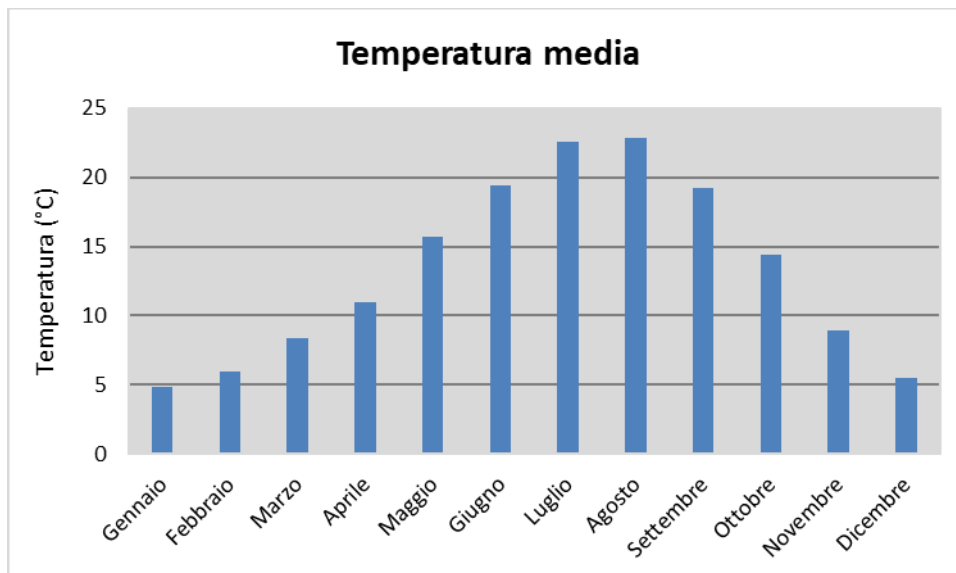


Figura 3-2 Temperatura media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Analizzando i valori massimi e minimi medi della temperatura nelle tre decadi (cfr. Figura 3-3) si osserva come il mese in cui vengono raggiunte le temperature massime medie più elevate sono luglio e agosto con 30 °C, mentre il mese con la temperatura minima media più bassa risulta gennaio con 0,6 °C.

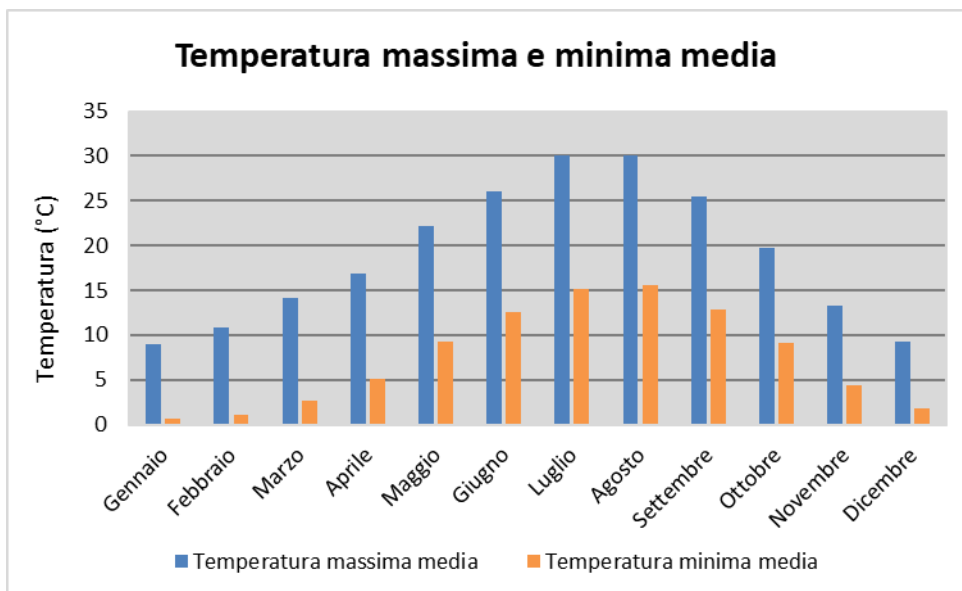


Figura 3-3 Temperatura massima e minima media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

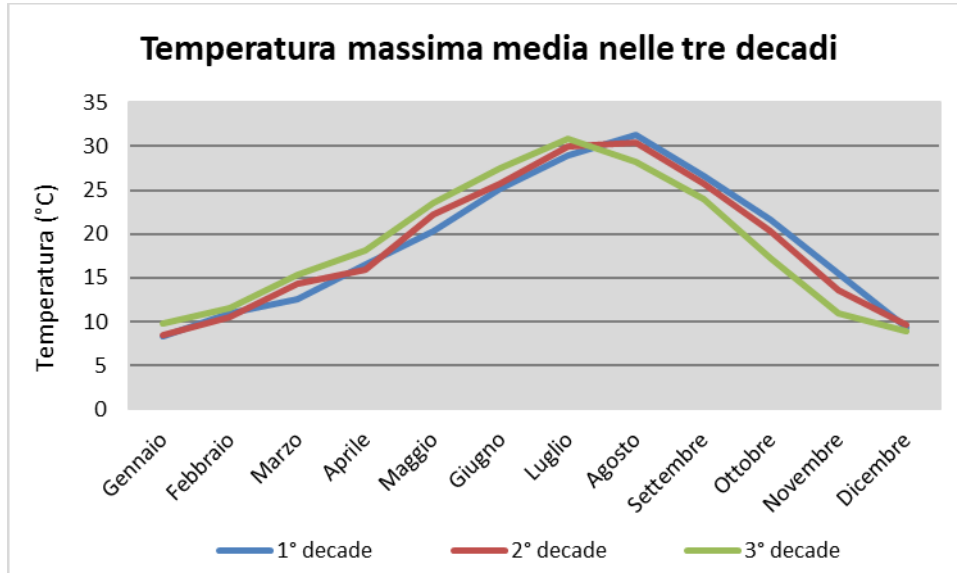


Figura 3-4 Temperatura massima media suddivisa per decadi (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Al fine di poter valutare dei trend di evoluzione della temperatura è possibile fare riferimento ai valori di temperatura minima e massima media mensile analizzata nelle tre differenti decadi di riferimento (1971 – 1980; 1981 – 1990; 1991 – 2000).

Dalla Figura 3-4 si può notare nel corso dei decenni un'inversione delle temperature con un anticipo delle temperature massime di circa un mese. La linea verde, infatti, rappresentativa della terza decade, fa registrare valori più elevati delle altre due nei mesi compresi tra gennaio e luglio. Nei mesi da agosto a dicembre si registra, invece, un andamento opposto con il valore della temperatura massima sempre inferiore a quello delle altre due decadi. Nell'ultima decade di analisi il mese con la temperatura massima media più elevata risulta luglio con un valore di 30,9°C.

Analoghe considerazioni possono essere effettuate in riferimento alle temperature minime così come mostrato in Figura 3-5.

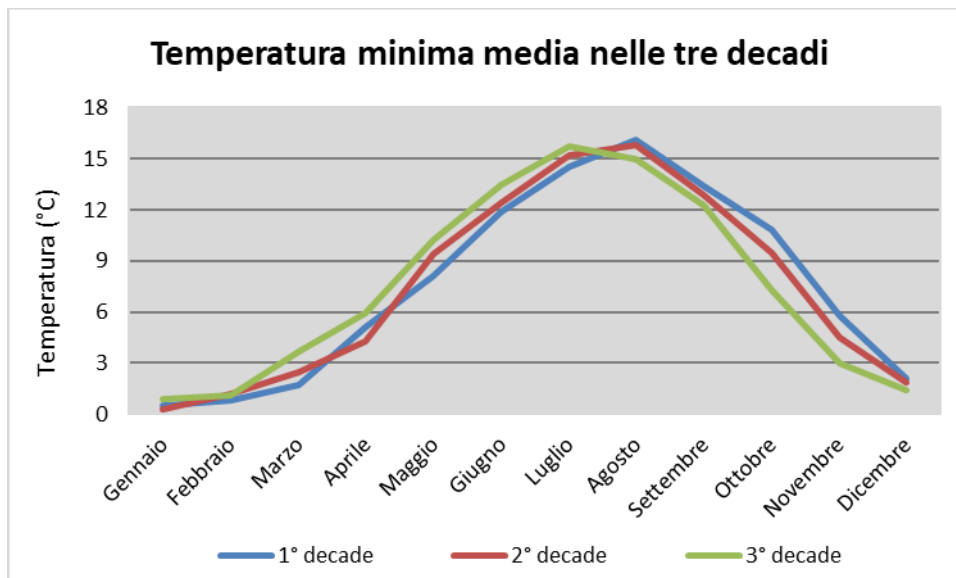


Figura 3-5 Temperatura minima media suddivisa per decadi (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

È inoltre possibile analizzare il fenomeno termico anche dal punto di vista dei percentili. In particolare, si può osservare la distribuzione in termini di differenze tra l'85° ed il 15° percentile al fine di determinare un intervallo di variazione dei valori contenuti tra tali percentili. Tale differenza può essere effettuata sia in termini di temperatura massima sia in termini di temperatura minima.

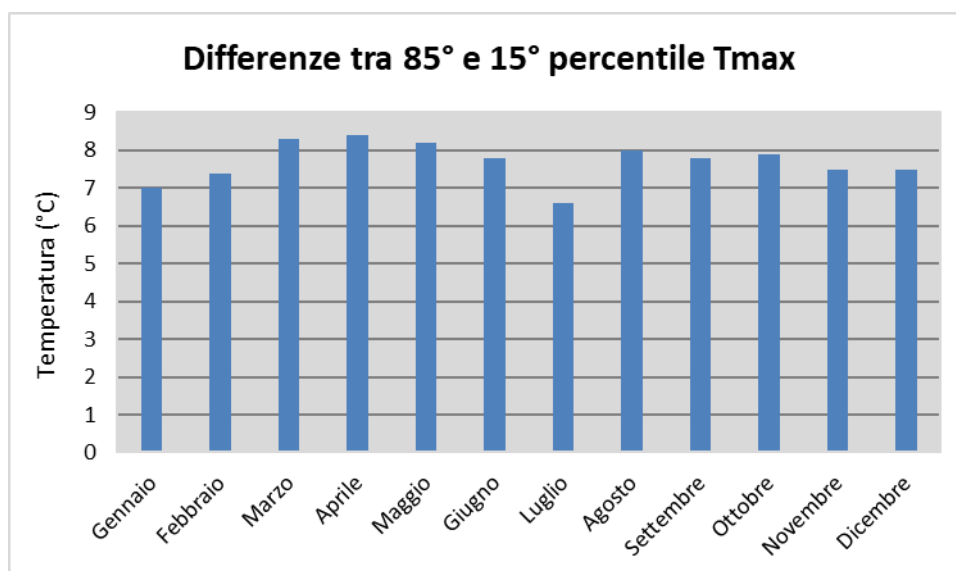


Figura 3-6 Differenza 85° – 15° percentile temperatura massima (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

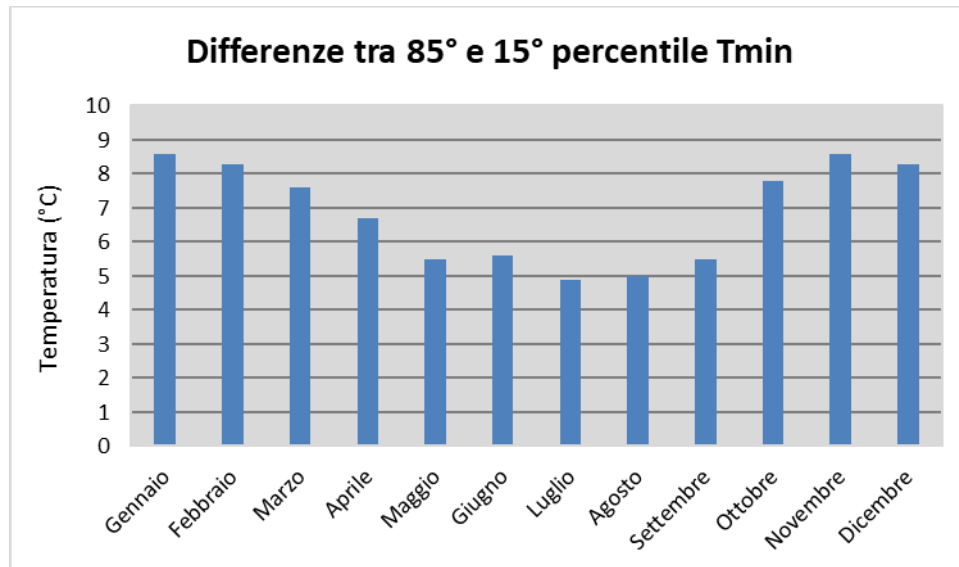


Figura 3-7 Differenza 85 – 15 percentile temperatura minima (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Dall'analisi delle temperature massime si può notare come il delta sia abbastanza costante e compreso tra i 6,5°C ed i 8,5°C circa. Con riferimento alla temperatura minima invece, si può evidenziare un trend in cui il minimo del delta si ha nei mesi di luglio e agosto ed è pari a 5 °C, mentre il massimo valore si ha nei mesi di gennaio e novembre, dove la differenza tra l'85° ed il 15° percentile raggiunge un valore intorno agli 8,5°C.

In ultimo, al fine di completare l'analisi sulle distribuzioni delle temperature nei diversi mesi nelle tre decadi di riferimento, è possibile effettuare un'analisi sull'occorrenza di determinati eventi, oltre che sulla loro entità. In particolare, è possibile valutare l'occorrenza di fenomeni "estremi", quali il superamento di temperature "soglia" sia in termini di temperatura massima, sia in termini di temperatura minima.

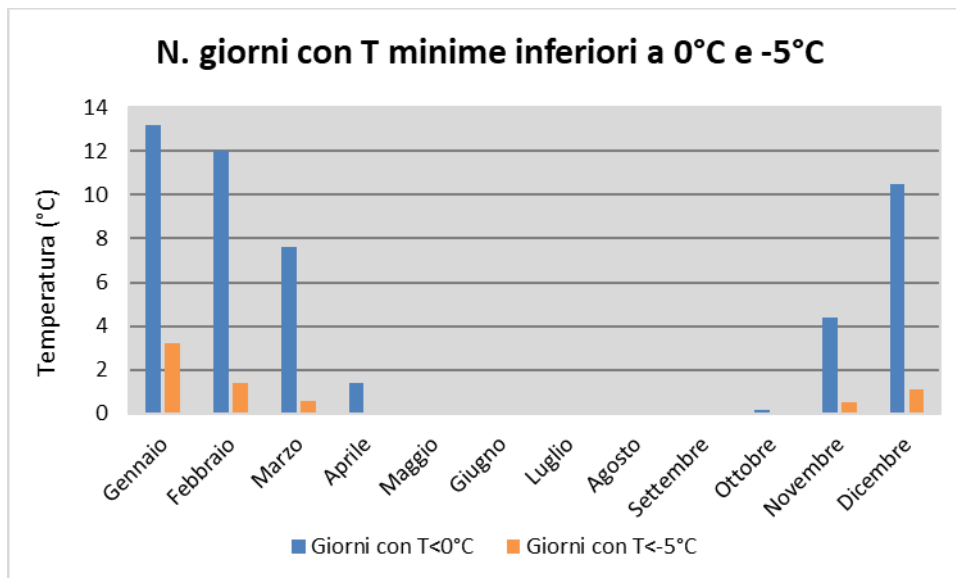


Figura 3-8 N° giorni con temperature minime inferiori a 0° e a -5° (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Con riferimento alle figure precedenti è possibile verificare come le temperature inferiori ai -5°C siano registrate nei mesi invernali e nel mese di novembre, mentre le giornate con temperature inferiori allo 0°C sono concentrate nei mesi da ottobre ad aprile.

Per quanto riguarda le temperature massime, invece, si registrano superamenti della soglia di 30 °C nei mesi estivi da giugno a settembre, mentre i superamenti della soglia di 25 °C si verificano da aprile a ottobre.

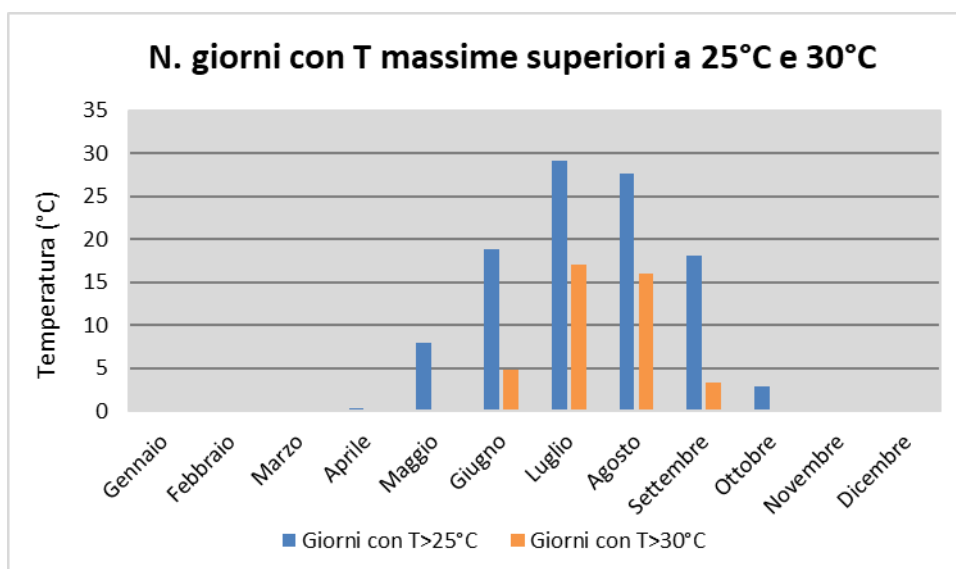


Figura 3-9 N° giorni con temperature massime superiori a 25° e 30° (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Regime pluviometrico

Il regime pluviometrico è definito attraverso i dati registrati e riportati nella Tabella 3-5, in cui sono stati anche riportati i dati circa l'umidità registrata, nonché la presenza di nebbia e di copertura nuvolosa.

Mese	RTot	RQ0	RQ1	RQ2	RQ3	RQ4	RQ5	Rx12a	Rx12b	Rx24	AnRx2 4
Gen	52,7	1,1	13,2	39,4	56,1	77,3	202,5	26,6	99,0	99,0	1982
Feb	56,8	5,9	13,9	39,9	59,0	86,4	151,2	37,2	33,6	59,0	1984
Mar	54,0	0,6	24,2	43,9	50,1	87,3	114,9	33,0	32,4	34,4	1987
Apr	72,0	22,4	36,5	60,3	74,6	92,6	181,8	33,6	32,4	46,6	1998
Mag	75,6	3,9	33,2	59,6	71,3	86,1	259,0	99,0	99,0	115,0	1982
Giu	69,9	15,0	36,9	51,2	62,4	86,0	205,2	47,2	36,0	62,4	1997
Lug	37,4	0,4	11,4	23,7	31,6	64,0	154,0	29,8	44,6	44,6	1987
Ago	49,7	0,0	16,1	28,5	48,8	79,5	130,5	49,0	37,8	50,6	1976
Set	87,6	0,8	35,3	58,8	100,7	132,4	194,2	67,8	99,0	116,4	1998
Ott	85,7	0,9	34,6	70,7	88,3	127,4	217,4	69,6	64,0	69,6	1988
Nov	94,7	6,6	32,3	77,4	92,1	158,1	231,9	48,8	43,4	64,4	1975
Dic	68,4	0,0	22,8	52,9	74,7	94,2	161,2	31,8	46,0	61,6	1998
Mese	NgR>1	NgR>5	NgR>1 0	NgR>5 0	NgFog	Ux%	Un%	Ngh6N uv≤4	Ngh6N uv>4	Ngh18 Nuv≤4	Ngh18 Nuv>4
Gen	7,1	3,1	1,5	0,1	6,7	96	67	13,4	17,5	13,6	17,3
Feb	7,1	3,7	1,7	0,0	2,6	94	56	13,4	14,8	14,2	14,0
Mar	7,0	3,7	1,8	0,0	1,0	95	48	15,4	15,6	14,9	16,0
Apr	8,7	4,4	2,3	0,0	0,7	97	50	13,0	17,4	11,7	18,7
Mag	8,4	4,6	2,5	0,1	0,7	98	48	16,7	14,8	13,6	17,8
Giu	7,1	4,2	2,4	0,0	0,6	97	43	18,8	10,9	14,7	15,1
Lug	4,7	2,2	1,2	0,0	0,1	95	38	25,0	5,8	21,5	9,3
Ago	4,9	2,7	1,8	0,0	0,3	95	38	23,1	7,1	19,9	10,3
Set	6,5	4,3	2,9	0,2	0,6	96	45	19,1	10,9	18,5	11,4
Ott	7,7	4,9	3,3	0,1	3,0	97	56	15,8	15,1	18,1	12,8
Nov	8,4	5,2	3,4	0,1	5,8	98	67	11,9	18,1	14,6	15,3
Dic	7,8	4,0	2,5	0,0	7,7	97	72	12,0	19,5	13,2	18,5

Tabella 3-5 Regime Pluviometrico (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

Il primo aspetto di analisi fa riferimento alla precipitazione totale media mensile registrata dalla stazione di riferimento in termini di millimetri, così come riportato in Figura 3-10.

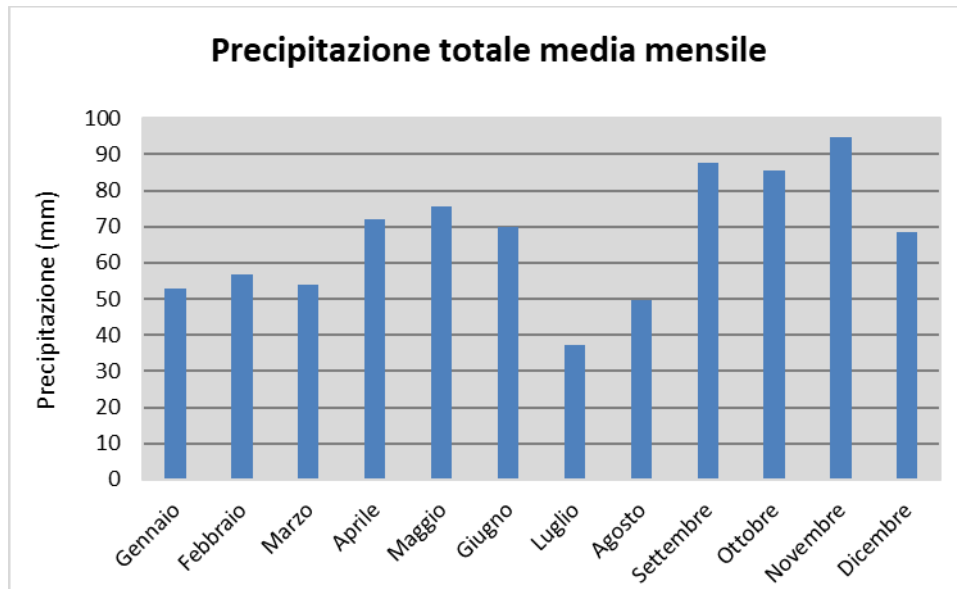


Figura 3-10 Precipitazione totale media mensile (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

È possibile notare come il mese con la media mensile più elevata sia novembre con più 95 mm di precipitazione, mentre il mese maggiormente asciutto è luglio con un valore di circa 37 mm.

Al fine di avere una valutazione quantitativa della distribuzione delle precipitazioni nei diversi mesi è possibile fare riferimento alla Figura 3-11.

In termini qualitativi è possibile evidenziare un delta marcato tra il quarto ed il quinto quintile ovvero il massimo della distribuzione in quintili, con una notevole differenza nel mese di maggio, in cui si ha un picco pari a circa 260 mm; mentre le differenze dal primo al quarto quintile sono molto più contenute.

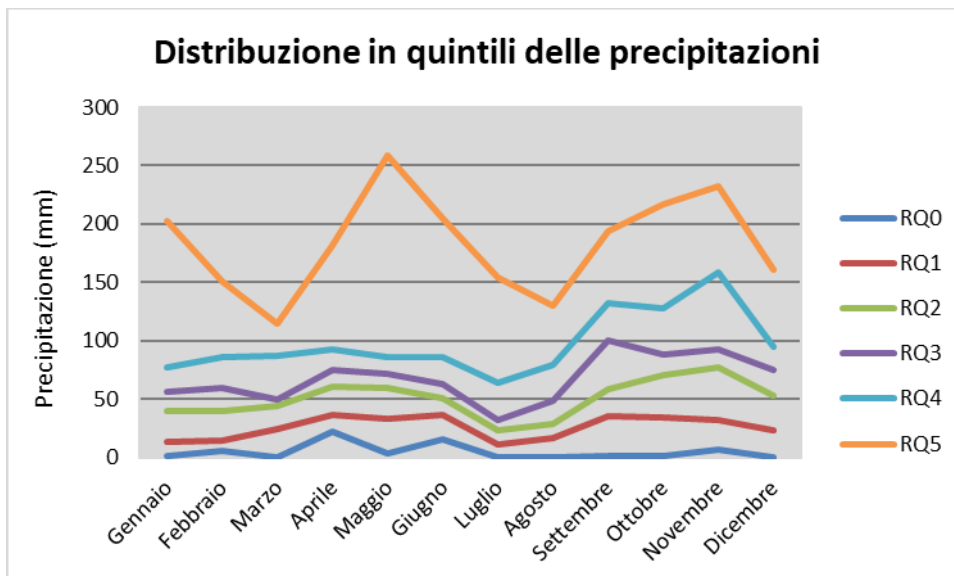


Figura 3-11 Distribuzione in quintili delle precipitazioni mensili (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

È inoltre possibile valutare la divisione delle precipitazioni massime con riferimento a due intervalli temporali 00-12 e 12-24, così come definito nella Figura 3-12.

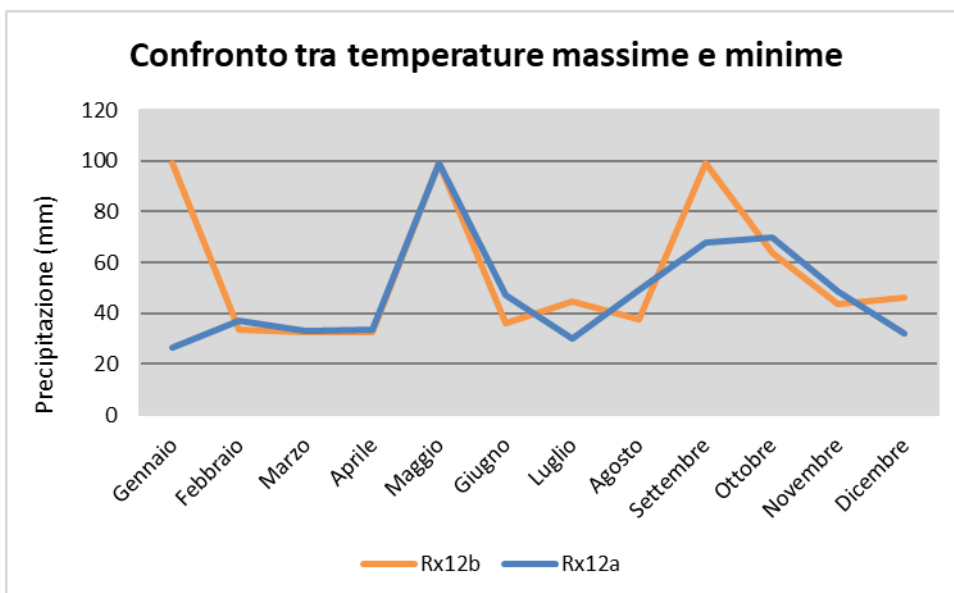


Figura 3-12 Precipitazioni massime periodi 00-12 e 12-24 (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

È possibile notare come per entrambi i periodi sia raggiunto un massimo, pari a 99mm di precipitazione, nel mese di maggio. Oltre a ciò, si registrano due ulteriori massimi, pari sempre a 99mm, per il periodo 12-24 nei

mesi di gennaio e settembre.

Di seguito si riporta la distribuzione dei massimi nelle 24 ore, nonché la data in cui si è verificata rispetto al periodo di analisi dell'Atlante Climatico.

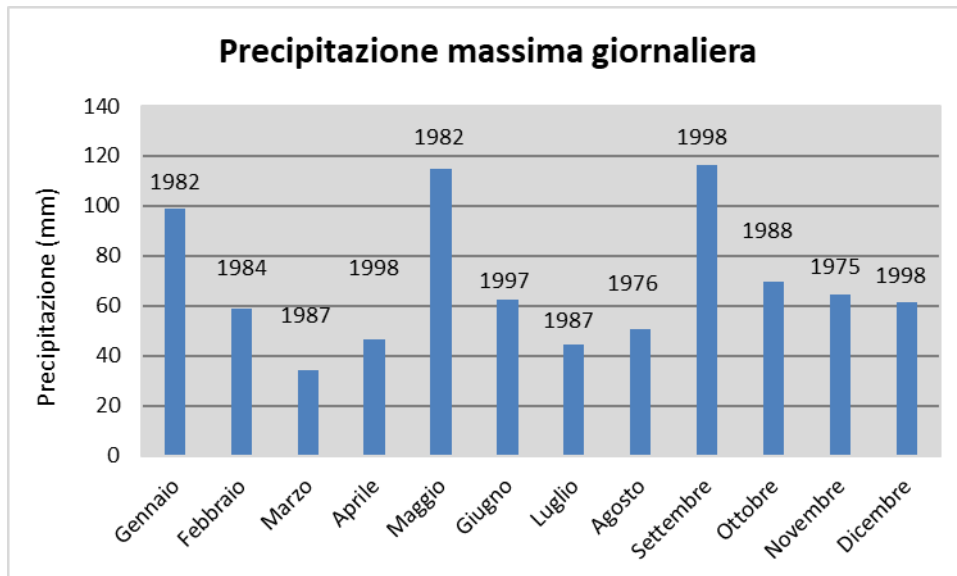


Figura 3-13 Precipitazioni massima nelle 24h ed anno di occorrenza (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

In ultimo, in analogia a quanto visto per le temperature, anche per il regime pluviometrico viene effettuata un'analisi circa il numero di giorni in cui si verifica il superamento di determinati valori di soglia. Nel caso in esame, riportato in Figura 3-14, vengono riportati il numero medio di giorni con precipitazioni superiori ad 1, 5, 10 e 50 mm.

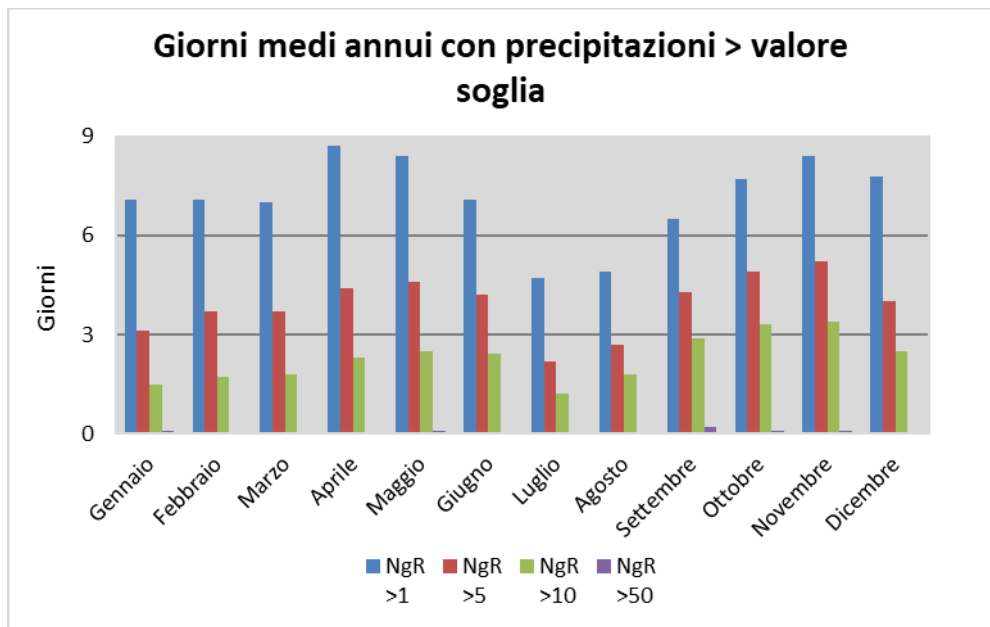


Figura 3-14 N° di giorni medio al mese con precipitazioni superiori a 1, 5, 10 e 50mm di precipitazioni (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Dall'analisi di tali dati è possibile evidenziare come il mese di aprile sia quello in cui mediamente ci sono più giorni con superamento del valore di 1 mm, e come per quanto riguarda la soglia più elevata (50 mm) si debba fare riferimento ai mesi di settembre e ottobre.

Con riferimento al secondo parametro analizzato, ovvero la presenza di nebbia, è possibile osservare la Figura 3-15, in cui vengono rappresentati i giorni medi al mese in cui è presente la nebbia. La distribuzione di tali valori varia notevolmente nei mesi dell'anno, con valori elevati nei mesi invernali e valori decisamente più bassi nei mesi estivi.

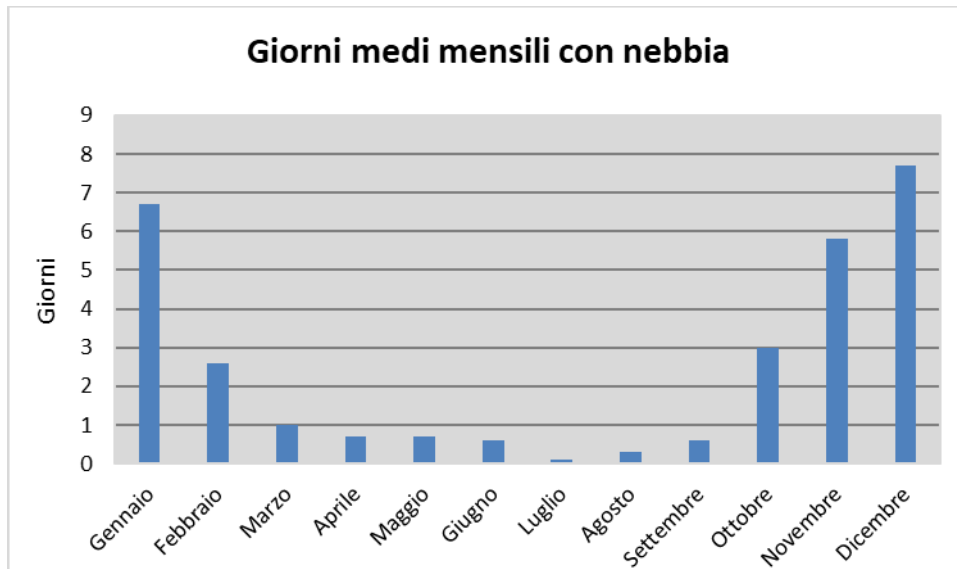


Figura 3-15 Numero di giorni medio al mese con presenza di nebbia (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Con riferimento all'umidità percentuale massima e minima si nota come il primo parametro sia uguale, con approssimazione al 100% in tutti i mesi dell'anno. Con riferimento al secondo parametro il delta si amplia con un valore minimo nei mesi di luglio e agosto pari al 38% e un valore massimo registrato nel mese di dicembre pari al 72%.

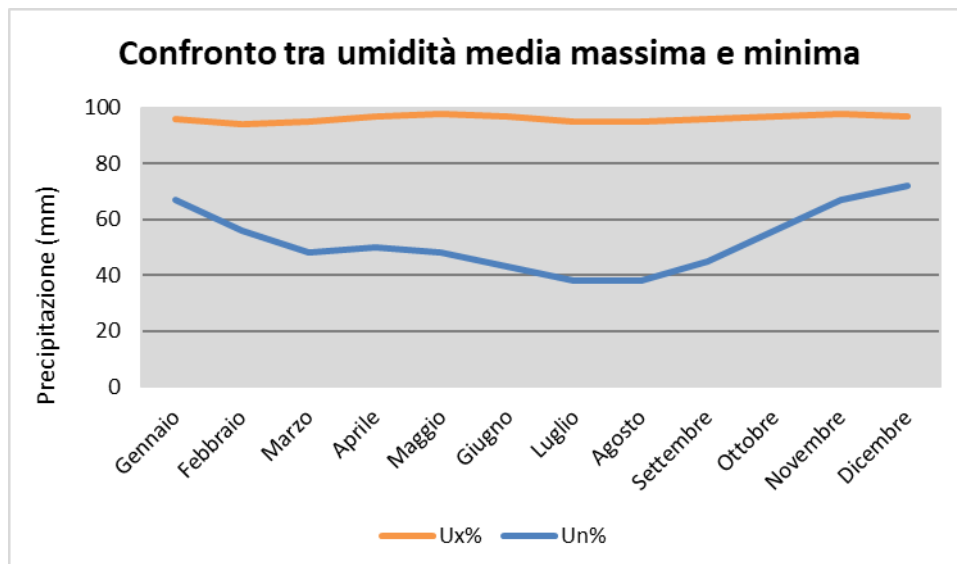


Figura 3-16 Media mensile dell'umidità percentuale massima e minima (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Ultimo aspetto del presente paragrafo riguarda l'analisi della copertura nuvolosa. In particolare, tale aspetto viene considerato con riferimento a:

- la copertura nuvolosa espressa in ottavi, ed in particolare se inferiore o superiore ai quattro ottavi;

- le ore del giorno, definendo due scenari di analisi alle ore 6 e alle ore 18.

La combinazione di tali aspetti dà luogo a quattro scenari di analisi:

- numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa inferiore o uguale a 4/8 alle ore 6;
- numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa superiore a 4/8 alle ore 6;
- numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa inferiore o uguale a 4/8 alle ore 18;
- numero medio di giorni al mese con copertura nuvolosa superiore a 4/8 alle ore 18.

Le risultanze di tali analisi sono riportate nella Figura 3-17.

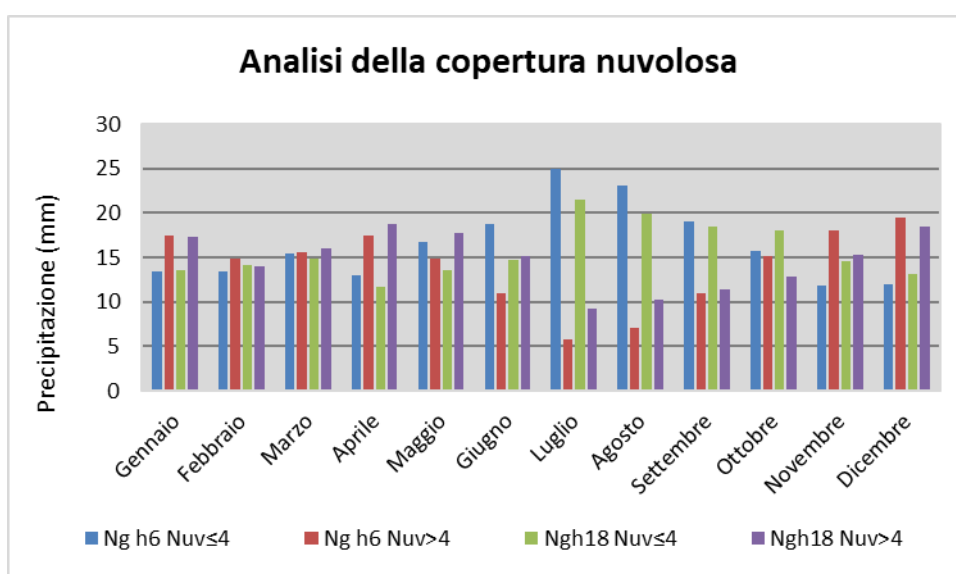


Figura 3-17 Analisi della copertura nuvolosa (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Regime anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi al vento è possibile identificarne sia la direzione sia l'entità espressa in nodi, suddivisa nelle classi definite precedentemente. I valori registrati sono sinteticamente riportati nelle tabelle seguenti con riferimento a quattro orari: 00:00, 06:00, 12:00, 18:00.

HH00

Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	55,12	17,65	6,65	0,38	2,30	3,71	0,38	0,51	0,00	0,00	0,90	0,51	0,00
Feb	48,48	22,94	6,78	0,29	3,03	4,76	0,14	0,14	0,14	0,00	1,30	0,43	0,00
Mar	49,33	20,70	5,65	0,13	4,84	3,76	0,27	0,13	0,00	0,00	2,15	0,13	0,00
Apr	60,14	14,72	2,78	0,00	3,19	2,36	0,00	0,28	0,14	0,00	1,94	0,56	0,00
Mag	66,09	14,49	2,93	0,00	2,53	0,53	0,00	0,27	0,00	0,00	1,46	0,40	0,00
Giu	70,89	13,57	0,45	0,00	1,66	0,15	0,00	0,45	0,00	0,00	0,90	0,15	0,00

HH00

Lug	69,84	16,40	1,76	0,00	2,64	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00
Ago	69,35	17,60	2,05	0,00	1,61	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00
Set	65,76	20,00	1,67	0,00	3,03	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	0,30	0,00
Ott	57,00	25,03	2,57	0,00	2,05	1,93	0,00	0,26	0,00	0,00	1,54	0,13	0,00
Nov	55,35	18,91	6,34	0,00	2,11	1,74	0,00	0,37	0,00	0,00	1,87	0,75	0,00
Dic	55,87	16,63	5,99	0,61	2,44	3,79	0,49	0,24	0,00	0,00	1,22	0,98	0,00
Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW 1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	Vxx
Gen	3,96	2,69	0,00	1,15	0,26	0,00	0,51	0,13	0,00	2,43	0,77	0,00	49
Feb	3,61	2,60	0,14	1,59	0,72	0,00	0,14	0,00	0,14	2,31	0,29	0,00	48
Mar	4,70	2,42	0,13	1,48	0,81	0,00	0,40	0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	53
Apr	5,00	1,94	0,00	3,47	0,28	0,14	0,42	0,00	0,00	2,50	0,14	0,00	44
Mag	4,65	0,53	0,00	2,26	0,27	0,00	1,33	0,13	0,00	1,99	0,13	0,00	56
Giu	3,47	0,30	0,00	4,22	0,30	0,00	0,75	0,00	0,00	2,71	0,00	0,00	44
Lug	2,64	0,00	0,00	3,07	0,15	0,00	0,88	0,00	0,00	2,05	0,00	0,00	47
Ago	1,76	0,44	0,00	2,05	0,00	0,00	1,32	0,00	0,00	2,79	0,15	0,00	52
Set	2,12	0,76	0,00	0,91	0,15	0,00	0,61	0,00	0,00	2,73	0,00	0,00	64
Ott	4,11	1,93	0,00	1,03	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	2,18	0,13	0,00	45
Nov	3,98	2,24	0,12	1,49	1,00	0,00	0,25	0,00	0,00	2,61	0,87	0,00	46
Dic	2,93	2,08	0,12	1,96	0,86	0,00	0,37	0,00	0,00	2,93	0,49	0,00	56

Tabella 3-6 Andamento del regime anemometrico ore 00:00 (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

HH06

Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	61,71	12,34	6,69	0,46	2,54	3,34	0,58	0,69	0,00	0,00	1,85	0,69	0,00
Feb	56,01	16,43	7,84	0,13	3,29	4,55	0,25	0,38	0,25	0,00	1,14	0,76	0,00
Mar	58,76	16,82	5,41	0,12	4,15	3,46	0,35	0,23	0,00	0,00	0,92	0,46	0,00
Apr	67,61	13,62	3,05	0,35	2,35	2,00	0,00	0,23	0,12	0,00	1,88	0,94	0,00
Mag	72,59	12,68	2,04	0,00	1,36	0,91	0,00	0,11	0,00	0,00	1,25	0,11	0,00
Giu	75,45	12,46	0,72	0,00	1,56	0,12	0,00	0,36	0,12	0,00	0,48	0,24	0,00
Lug	70,06	18,38	1,27	0,00	2,08	0,35	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
Ago	69,48	18,53	2,38	0,00	2,38	0,24	0,00	0,24	0,00	0,00	0,36	0,24	0,00
Set	71,31	15,95	1,43	0,00	1,67	0,83	0,00	0,24	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00
Ott	66,47	15,32	3,11	0,00	2,76	2,07	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	0,12	0,00
Nov	65,36	13,93	4,88	0,12	1,31	1,79	0,00	0,24	0,00	0,00	1,55	0,83	0,12
Dic	58,71	13,80	7,47	0,23	1,92	3,05	0,79	0,45	0,23	0,00	1,24	0,90	0,11

HH06

Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	Vxx
Gen	1,85	2,88	0,00	1,15	0,46	0,12	0,58	0,00	0,00	1,96	0,12	0,00	1,85
Feb	3,16	1,52	0,25	0,76	0,25	0,00	0,25	0,13	0,00	2,40	0,25	0,00	3,16
Mar	2,53	1,73	0,12	1,15	0,23	0,00	0,35	0,00	0,00	2,76	0,46	0,00	2,53
Apr	2,93	1,29	0,00	0,82	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	2,58	0,12	0,00	2,93
Mag	2,94	1,25	0,00	1,13	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	2,83	0,11	0,00	2,94
Giu	3,11	0,24	0,00	1,56	0,12	0,00	0,36	0,00	0,00	3,11	0,00	0,00	3,11
Lug	1,73	0,46	0,12	1,16	0,00	0,00	0,23	0,12	0,00	3,70	0,12	0,00	1,73
Ago	1,19	0,71	0,00	0,48	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	3,33	0,00	0,00	1,19
Set	1,90	0,48	0,00	1,31	0,00	0,00	0,24	0,24	0,00	3,81	0,00	0,00	1,90
Ott	3,69	1,73	0,00	0,58	0,12	0,00	0,23	0,00	0,00	1,84	0,23	0,00	3,69
Nov	2,50	2,62	0,12	0,71	0,36	0,00	0,71	0,24	0,00	2,26	0,36	0,00	2,50
Dic	2,04	3,05	0,23	1,92	0,57	0,00	0,68	0,11	0,00	1,81	0,68	0,00	2,04

Tabella 3-7 Andamento del regime anemometrico ore 06:00 (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

HH12

Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	54,84	5,30	8,76	0,46	2,76	8,29	0,69	0,46	0,12	0,00	1,73	0,58	0,00
Feb	42,73	6,83	8,09	0,76	3,54	16,31	1,01	1,39	0,00	0,00	2,28	0,88	0,00
Mar	28,88	7,83	6,90	0,69	5,06	13,35	1,38	0,69	0,35	0,00	0,81	0,69	0,00
Apr	18,69	5,96	6,54	0,35	5,02	11,33	0,47	0,58	0,35	0,00	3,15	1,29	0,00
Mag	16,40	7,24	6,45	0,00	5,32	9,05	0,00	1,36	0,23	0,00	2,04	0,79	0,00
Giu	11,75	6,71	3,36	0,12	7,67	5,76	0,00	1,68	0,00	0,00	1,80	0,48	0,00
Lug	11,33	10,06	4,28	0,12	9,36	7,75	0,12	1,39	0,46	0,00	1,16	0,12	0,00
Ago	14,64	10,12	4,40	0,12	7,62	7,86	0,00	0,71	0,24	0,00	1,67	0,36	0,00
Set	23,93	9,40	3,69	0,12	6,90	8,93	0,12	0,83	0,12	0,12	2,62	0,36	0,00
Ott	40,44	9,10	6,34	0,23	4,38	9,33	0,35	0,35	0,12	0,12	2,53	1,15	0,00
Nov	53,21	5,95	8,57	0,71	2,50	6,19	0,60	0,36	0,36	0,00	1,79	0,95	0,12
Dic	54,47	6,60	6,26	0,67	2,01	7,72	1,90	0,67	0,11	0,00	1,23	0,56	0,11
Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	Vxx
Gen	3,11	4,72	0,12	2,30	1,15	0,12	0,69	0,69	0,12	2,53	0,46	0,00	-
Feb	2,28	5,06	0,38	2,02	1,26	0,13	1,77	0,63	0,00	2,40	0,25	0,00	-
Mar	6,44	7,25	0,35	8,29	3,11	0,12	3,57	0,81	0,00	2,99	0,46	0,00	-
Apr	7,36	9,35	0,35	15,19	3,39	0,23	6,19	0,82	0,00	2,69	0,58	0,00	-
Mag	5,54	7,69	0,57	21,15	5,09	0,11	7,81	0,57	0,00	2,49	0,00	0,00	-

HH12

Giu	8,27	6,59	0,00	23,50	5,52	0,12	11,03	0,84	0,00	4,08	0,60	0,00	-
Lug	6,36	6,24	0,00	23,70	3,47	0,00	8,90	0,69	0,00	4,28	0,12	0,00	-
Ago	8,93	3,93	0,36	20,60	2,74	0,12	9,52	1,43	0,00	4,29	0,36	0,00	-
Set	8,33	5,71	0,36	15,71	1,55	0,12	7,02	0,24	0,00	3,45	0,24	0,00	-
Ott	5,41	6,22	0,35	5,18	1,96	0,12	3,23	0,46	0,00	2,30	0,12	0,00	-
Nov	2,86	7,02	0,36	1,55	1,79	0,12	1,19	0,48	0,12	2,62	0,60	0,00	-
Dic	2,68	5,82	0,78	2,46	1,23	0,00	0,56	0,34	0,00	3,02	0,78	0,00	-

Tabella 3-8 Andamento del regime anemometrico ore 12:00 (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

HH18

Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	51,84	14,63	10,14	0,35	3,92	4,38	0,58	0,58	0,00	0,00	2,07	0,58	0,00
Feb	40,20	14,03	10,62	0,00	7,84	8,98	0,38	1,01	0,00	0,00	1,14	0,13	0,00
Mar	32,95	11,87	6,80	0,00	10,71	10,25	0,58	1,04	0,23	0,00	1,96	0,35	0,00
Apr	28,57	7,61	5,39	0,00	9,95	7,96	0,00	0,70	0,35	0,00	4,45	0,94	0,00
Mag	27,49	7,92	4,07	0,00	11,09	6,11	0,00	0,23	0,00	0,00	3,73	0,57	0,00
Giu	26,16	8,36	2,51	0,00	9,92	3,35	0,00	1,19	0,00	0,00	3,35	0,24	0,00
Lug	22,54	6,94	4,28	0,00	14,80	6,47	0,00	0,92	0,00	0,00	1,39	0,23	0,00
Ago	29,95	7,88	4,53	0,00	14,08	8,00	0,00	0,72	0,48	0,00	2,27	0,84	0,12
Set	40,60	10,60	5,24	0,00	11,90	5,12	0,00	0,60	0,00	0,00	1,19	0,24	0,00
Ott	42,51	17,51	8,06	0,12	7,37	3,23	0,00	0,46	0,00	0,00	1,50	0,35	0,00
Nov	51,13	16,45	8,34	0,12	3,81	2,86	0,00	1,07	0,00	0,00	2,86	1,19	0,00
Dic	52,19	13,13	9,09	0,45	2,92	4,71	0,56	0,22	0,00	0,00	1,68	1,12	0,00
Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	Vxx
Gen	4,61	2,42	0,12	0,92	0,23	0,00	0,92	0,12	0,00	1,27	0,35	0,00	-
Feb	6,45	2,28	0,00	2,28	1,64	0,13	1,26	0,13	0,00	1,39	0,13	0,00	-
Mar	6,80	4,49	0,23	6,45	1,50	0,00	2,53	0,35	0,00	0,81	0,12	0,00	-
Apr	8,20	6,32	0,00	9,84	2,93	0,00	4,57	0,82	0,00	1,41	0,00	0,00	-
Mag	7,24	4,52	0,23	12,78	4,07	0,00	7,35	0,68	0,00	1,92	0,00	0,00	-
Giu	7,53	5,38	0,00	13,14	5,73	0,00	9,56	0,72	0,00	2,51	0,36	0,00	-
Lug	6,47	3,01	0,00	12,95	6,24	0,12	9,48	0,46	0,00	3,35	0,35	0,00	-
Ago	4,42	2,27	0,00	9,79	4,89	0,00	7,16	0,60	0,00	2,03	0,00	0,00	-
Set	7,74	2,14	0,00	7,50	2,38	0,00	2,74	0,24	0,00	1,67	0,12	0,00	-
Ott	8,53	3,11	0,00	3,69	0,58	0,00	0,46	0,12	0,00	2,07	0,23	0,00	-
Nov	4,89	3,46	0,24	0,83	0,36	0,00	0,83	0,00	0,00	1,19	0,36	0,00	-

HH18

Dic	4,38	4,83	0,11	1,01	0,56	0,00	0,34	0,00	0,00	1,91	0,79	0,00	-
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

Tabella 3-9 Andamento del regime anemometrico ore 18:00 (Fonte: Atlante climatico Aeronautica Militare)

I diagrammi seguenti riportano, in funzione delle diverse stagioni e dei diversi orari, le direzioni di provenienza dei venti, espressi in termini percentuali. Al fine di una loro corretta lettura è opportuno specificare come le diverse aree rappresentino la frequenza della direzione del vento osservata in funzione delle classi di intensità, rispettivamente partendo dal margine interno a quello esterno:

- tra 1 e 10 nodi – area in blu;
- tra 10 e 20 nodi – area in rosso;
- superiore a 20 nodi – area in verde.

La frequenza percentuale di ciascuna classe si ottiene sottraendo al valore mostrato nel diagramma, quello riferito all'area più interna. Solo per la prima classe (area in blu) il valore evidenziato sul diagramma anemometrico coincide con la frequenza.

I diagrammi anemometrici sono rappresentati per stagioni considerando:

- la stagione invernale nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio;
- la stagione primaverile nei mesi marzo, aprile e maggio;
- la stagione estiva nei mesi di giugno, luglio e agosto;
- la stagione autunnale nei mesi di settembre, ottobre e novembre.

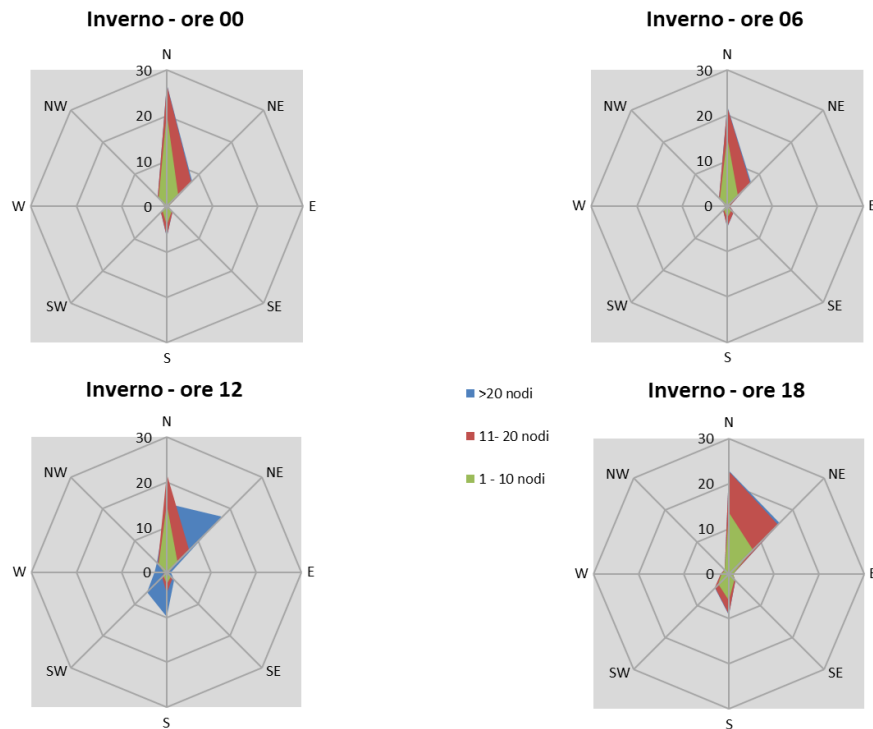


Figura 3-18 Regime anemometrico invernale nelle 4 ore di riferimento (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico)

L'analisi dei diagrammi mostra per la stagione invernale una prevalenza di venti con direzione da Nord per tutte le fasce orarie e da NE per le fasce 12:00-18:00 e 18:00-24:00. Le velocità, in termini di nodi, sono concentrate principalmente nella prima classe e seconda classe, ad eccezione della fascia oraria 12:00-18:00 per la quale si assiste ad un importante contributo di venti con velocità maggiori ai 20 nodi.

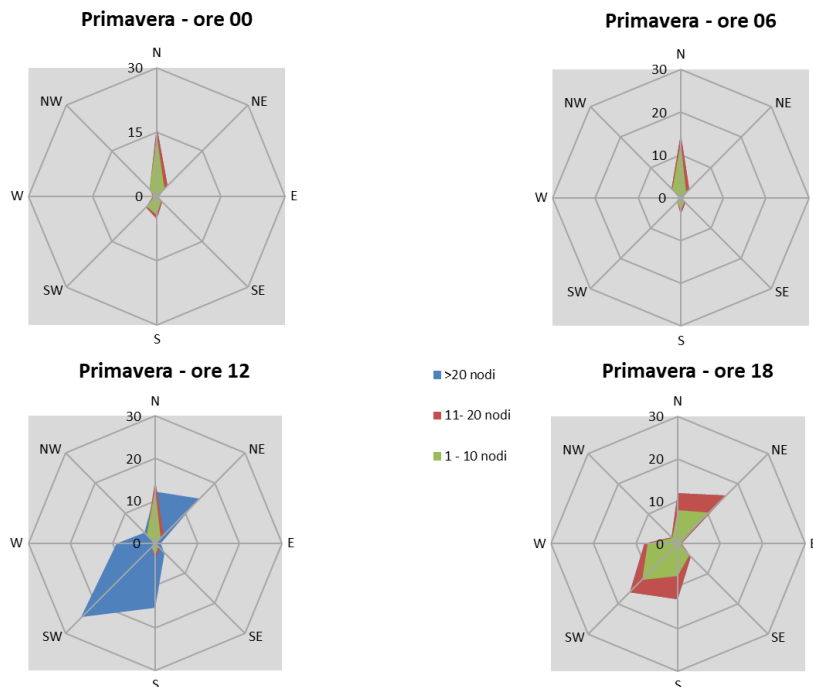


Figura 3-19 Regime anemometrico primaverile nelle 4 ore di riferimento (Fonte: elaborazione dati Atlante Climatico)

La stagione primaverile mostra una prevalenza di venti da Nord nelle prime due fasce orarie della giornata, mentre per le altre due fasce (12:00-18:00 e 18:00-24:00) si assiste ad una marcata presenza di venti provenienti da Nord Est e Sud Ovest. In termini di velocità del vento, le classi dominanti rimangono la prima e la seconda per tutte le ore del giorno, ad eccezione della fascia 12:00-18:00 dove si ha una prevalenza di venti che spirano con velocità superiori ai 20 nodi.

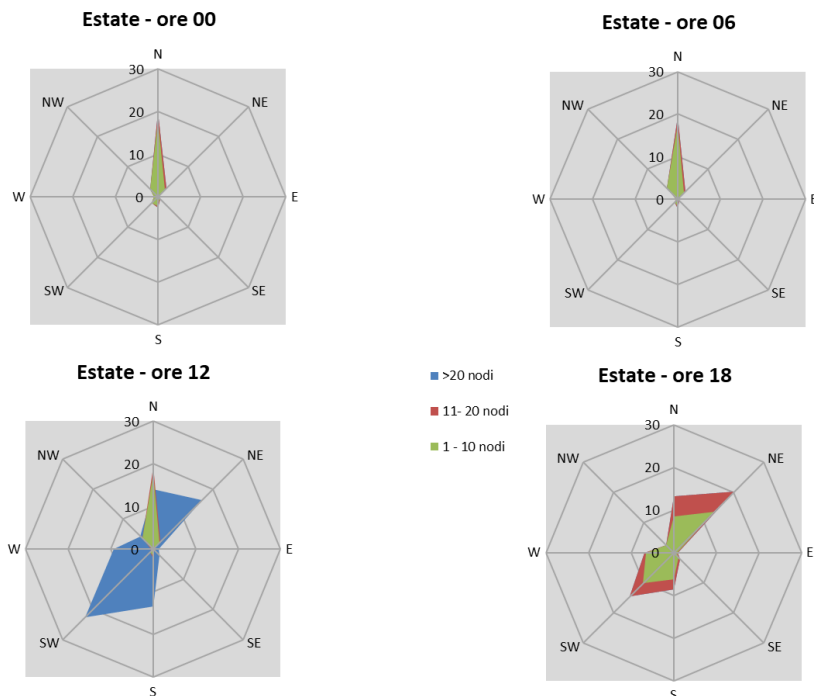


Figura 3-20 Regime anemometrico estivo nelle 4 ore di riferimento (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico)

Con riferimento alla stagione estiva, si registra una situazione analoga a quella primaverile: prevalenza di venti da Nord nelle prime due fasce orarie della giornata, mentre per le altre due fasce (12:00-18:00 e 18:00-24:00) si assiste ad una marcata presenza di venti provenienti da Nord Est e Sud Ovest. In termini di velocità del vento, le classi dominanti rimangono la prima e la seconda per tutte le ore del giorno, ad eccezione della fascia 12:00-18:00 dove si ha una prevalenza di venti che spirano con velocità superiori ai 20 nodi.

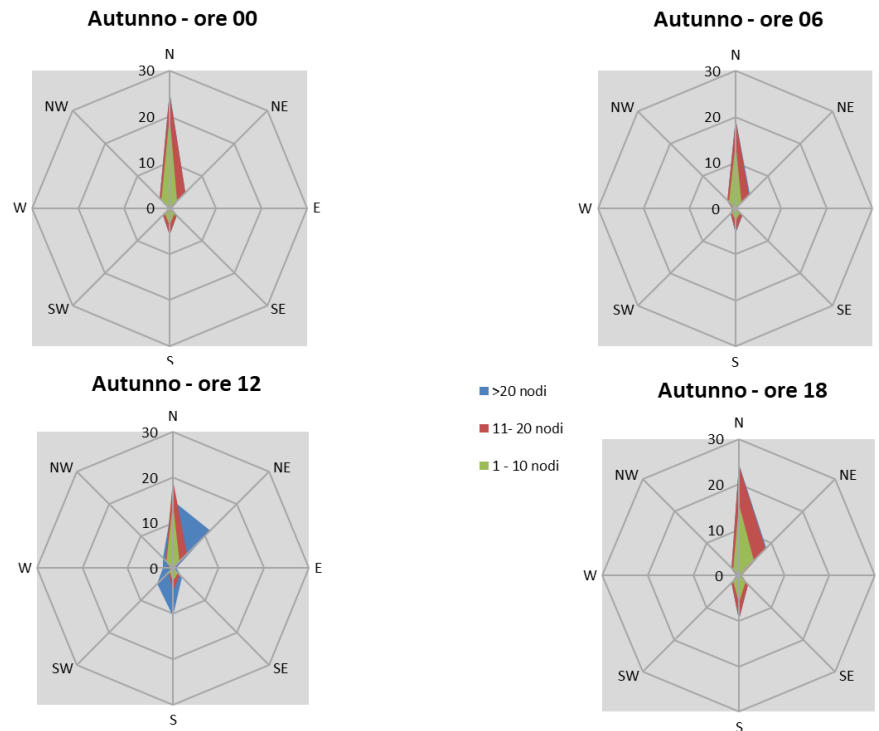


Figura 3-21 Regime anemometrico autunnale nelle 4 ore di riferimento (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico)

La stagione autunnale presenta un andamento piuttosto analogo a quella invernale sia in termini di direzione che in termini di intensità del vento.

3.2 Il dato attuale: 2021

Descrizione: formato e disponibilità dati

I dati meteorologici vengono costantemente rilevati dagli osservatori e dalle stazioni per poi essere aggregati per l'utilizzo, la trasmissione e l'archiviazione sotto forma di bollettini meteorologici da parte dell'Aeronautica Militare.

In particolare, il bollettino METAR, dal quale sono stati ricavati i dati meteorologici dell'area di studio relativi al 2021, 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.

Si sottolinea che non sono stati considerati i dati relativi al 2022 in quanto presenti in percentuali minori rispetto a quanto indicato nel documento "Indicazioni relative all'utilizzo di tecniche modellistiche per la simulazione della dispersione di inquinanti negli studi di impatto sulla componente atmosfera" redatto da ARPA Lombardia, secondo il quale la percentuale di dati assenti/invalidi deve essere minore del 20 % sul totale dei dati meteo orari impiegati nelle simulazioni.

I principali parametri meteorologici utilizzati sono:

- **Temperatura:** la temperatura dell'aria viene espressa in gradi centigradi (°C). Affinché la rilevazione sia rappresentativa, i termometri sono ubicati ad un'altezza variabile tra 1,25 e 2 metri dal suolo su terreno controllato (quale manto erboso), protetti da precipitazioni e radiazione incidente in apposita capannina (con apertura a nord), mantenendo libera la circolazione dell'aria. In particolare, per il bollettino METAR la temperatura dell'aria è registrata ogni ora o mezz'ora in °C, approssimata al grado intero.
- **Vento:** le unità di misura adottate per il vento sono: per l'intensità, che corrisponde alla velocità dell'aria rispetto al suolo, il nodo (KT, corrisponde a 1,852 km/h) e per la direzione di provenienza, il grado sessagesimale (si assume come valore 0 la calma di vento e 360 il nord). Lo strumento di misura, chiamato anemometro, è posto lontano da ostacoli, ad un'altezza di 10 metri dal suolo. In particolare, per il bollettino METAR vengono rilevate la direzione e l'intensità del vento al suolo; inoltre viene misurata anche la raffica, che consiste nella velocità massima del vento (su una media mobile strumentale di 3 secondi) riferita allo stesso periodo di 10 minuti, quando questa supera di almeno 10 nodi il valore dell'intensità.
- **Pressione:** le unità di misura utilizzate sono l'hectoPascal [hPa] e il millibar [mb], che coincidono numericamente. I barometri sono di tipo a colonna di mercurio oppure a capsule aneroidi (interfacciate da regoli o sensori) ed indicano la pressione misurata al livello della stazione. In particolare, per il bollettino METAR viene fornito in hPa il QNH ovvero la pressione ridotta al livello del mare secondo un'atmosfera standard (ICAO).
- **Visibilità:** la visibilità orizzontale viene stimata empiricamente dall'operatore attraverso l'osservazione di opportuni riferimenti posti a distanza nota sul giro d'orizzonte oppure, e questo solo nei metar, misurata tramite un visibilometro lungo le piste aeroportuali (RVR).

In riferimento alla stazione considerata, che, coerentemente a quella scelta per l'analisi storica, è rappresentata dalla stazione di Perugia, i dati a disposizione hanno un intervallo di mezz'ora, per cui per ogni mese vengono registrati circa 1440 dati.

Al fine di poter descrivere compiutamente lo stato attuale, si riportano di seguito le descrizioni dei parametri meteorologici principali per l'anno di riferimento 2021, per poi successivamente confrontare questi con i dati storici e verificarne la coerenza.

Regime termico

Per quanto riguarda le temperature nell'anno di riferimento, come visibile dalla Figura 3-22, si registrano temperature maggiori nei mesi estivi di giugno, luglio e agosto, con un massimo assoluto di 39 °C nel mese di agosto.

Nei mesi invernali e nei primi giorni di aprile le temperature spesso scendono sotto gli 0 °C, registrando un minimo assoluto pari a -5 °C nel mese di marzo. In generale, la media annua è pari a circa 15°C.

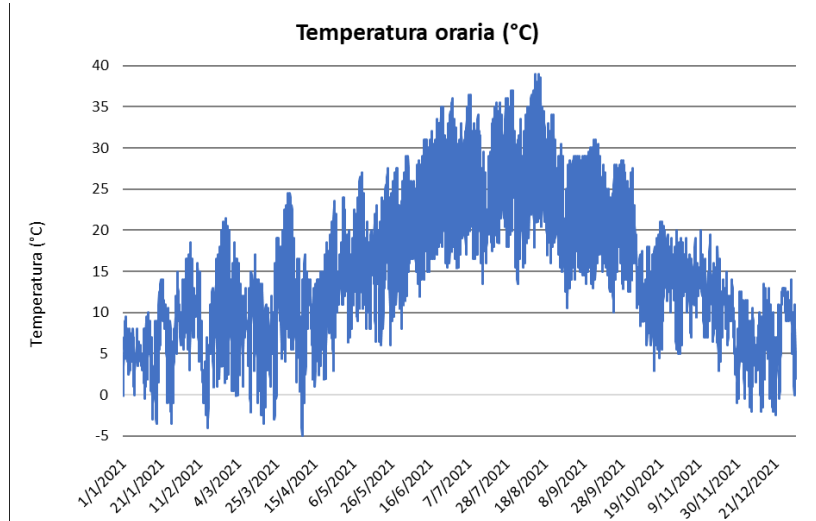


Figura 3-22 Temperatura oraria (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

Regime anemometrico

L'intensità del vento registrata, Figura 3-23, assume dei picchi di valore nei mesi di ottobre che arrivano anche a valori di circa 15 m/s, anche se durante tutto l'anno si mantiene una media assoluta di 3,14 m/s.

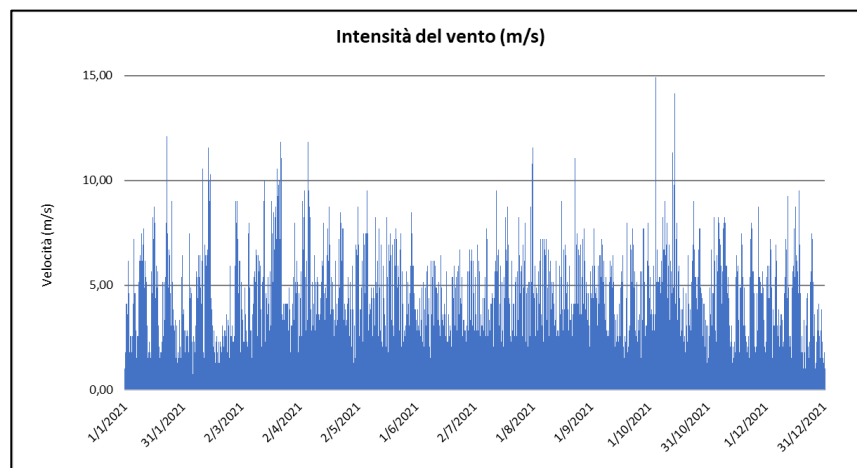


Figura 3-23 Intensità del vento (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

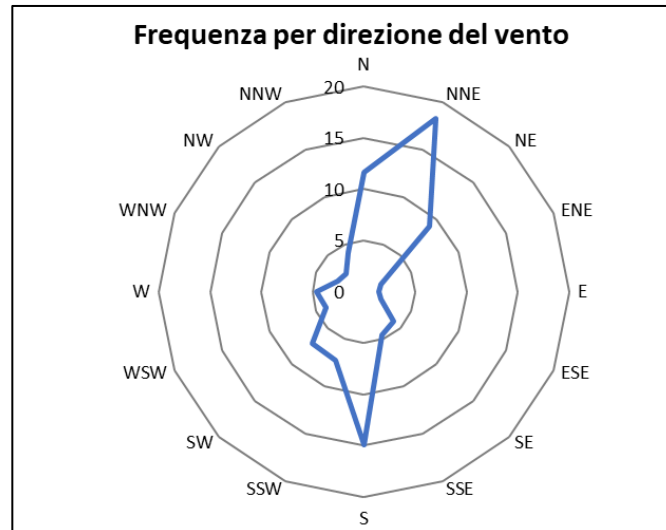


Figura 3-24 Frequenza per direzione di vento (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

In relazione alla frequenza percentuale per direzione del vento, Figura 3-24, si nota come le direzioni prevalenti registrate siano NNE, che si verifica in circa il 18% delle ore dell'anno e S (15% delle ore dell'anno).

Nuvolosità

Il grado di nuvolosità viene calcolato in ottavi, dove, ad esempio, il valore 8 risulta essere quello in cui si ha il più alto grado di copertura. La Tabella 3-10 descrive nel dettaglio tale parametro.

Aspetto del cielo	Descrizione e intensità
Sereno	copertura 0 ottavi
Poco nuvoloso	copertura 1-2 ottavi
Nuvoloso	copertura 3-5 ottavi
Molto nuvoloso	copertura 6-7 ottavi
Coperto	copertura 8 ottavi

Tabella 3-10 Grado di nuvolosità

Dal grafico riguardante la frequenza del grado di nuvolosità, Figura 3-25, si nota una bassa frequenza di grado di nubi della classe 8, mentre la frequenza più alta è registrata nella classe di nuvolosità 3 o 4.

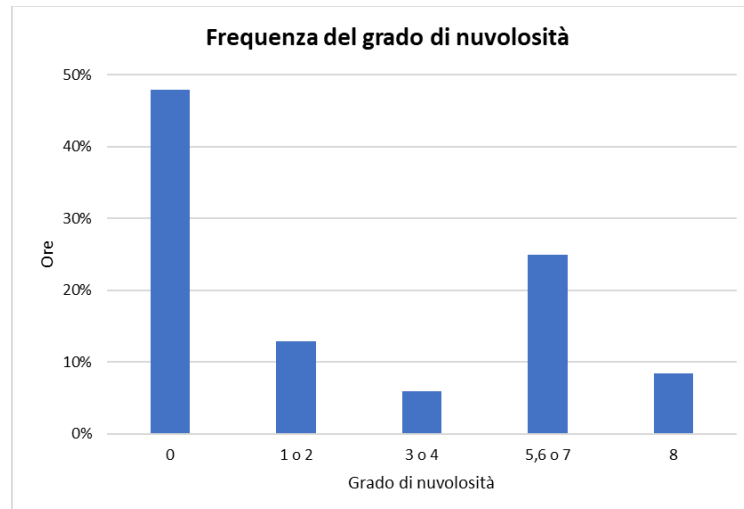


Figura 3-25 Frequenza del grado di nuvolosità (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

3.3 Il confronto tra il dato storico e l'anno di riferimento delle simulazioni

Parametri di confronto

Al fine di validare la simulazione che si andrà a condurre, in relazione all'aspetto meteorologico, è opportuno verificare la bontà del dato attuale assunto con la serie storica analizzata. Ciò che si intende valutare, quindi, è la significatività del dato attuale 2021 rispetto alle condizioni meteorologiche che generalmente si verificano nell'area in cui è localizzata la stazione meteo, prossima al luogo di intervento.

Con tale verifica sarà quindi evidenziato come il dato meteorologico del 2021 sia conforme al dato storico, non rappresentando così un "outliers" rispetto alle condizioni meteo climatiche medie storiche analizzate nella stessa area. Nello specifico verranno, quindi, di seguito, analizzati e confrontati i principali parametri utilizzati nelle simulazioni modellistiche, quali il regime termico ed il regime anemometrico.

Si ricorda che non sono stati considerati i dati relativi al 2022 in quanto presenti in percentuali minori rispetto a quanto indicato nel documento "Indicazioni relative all'utilizzo di tecniche modellistiche per la simulazione della dispersione di inquinanti negli studi di impatto sulla componente atmosfera" redatto da ARPA Lombardia, secondo il quale la percentuale di dati assenti/invalidi deve essere minore del 20 % sul totale dei dati meteo orari impiegati nelle simulazioni.

Regime termico

Per quanto riguarda il Regime Termico il confronto è stato effettuato in primis tra le temperature medie mensili (cfr. Figura 3-26). Tale grafico mostra un andamento pressoché invariato tra i due differenti riferimenti temporali. Come si evince in figura, la differenza tra le temperature medie è massima nel mese di giugno, dove è pari a circa 4°C, mentre per il resto dei mesi si mantiene compresa entro i 2°C.

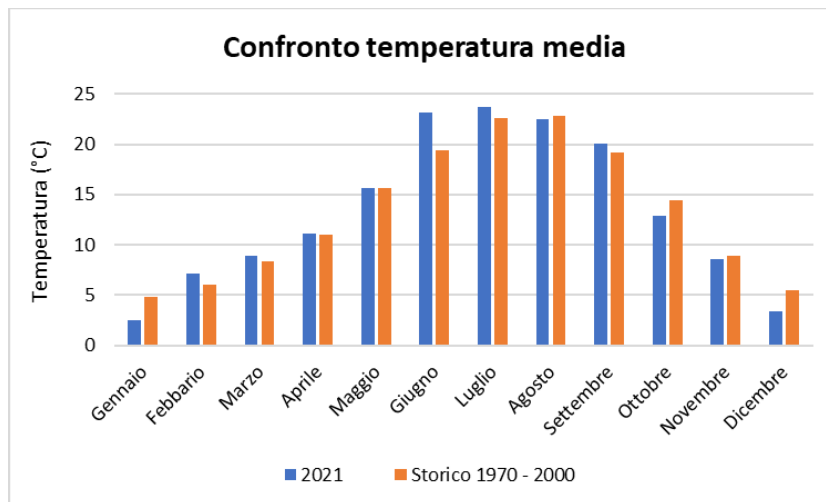


Figura 3-26 Confronto temperatura media (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

Anche nel confronto della temperatura massima media e minima media (cfr. Figura 3-27 e Figura 3-28) tra le tre decadi precedentemente studiate e l'anno di riferimento, il trend rimane analogo.

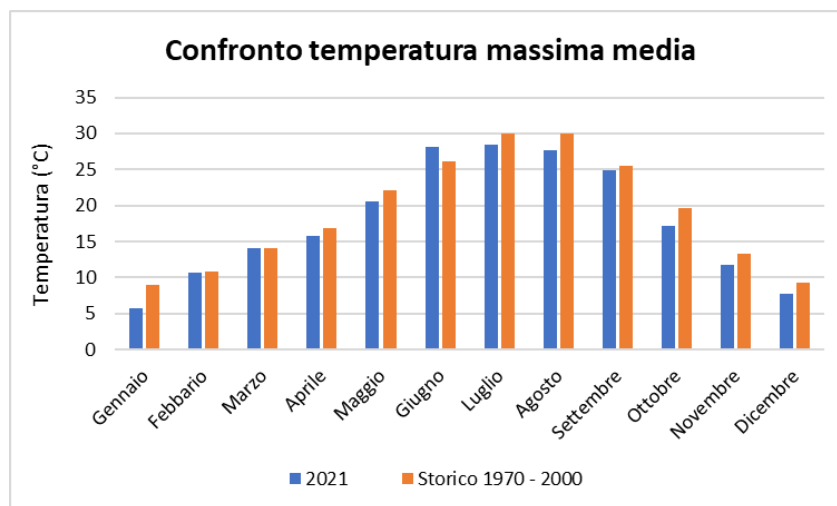


Figura 3-27 Confronto temperatura massima media (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

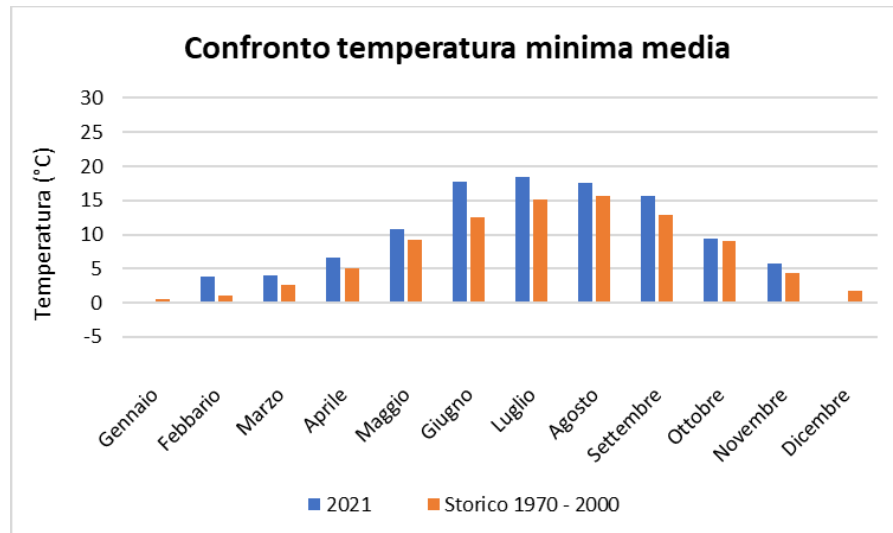


Figura 3-28 Confronto temperatura minima media (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

Regime anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi al vento è possibile identificarne sia la direzione sia l'entità espressa in nodi. Tale analisi, precedentemente effettuata per le tre decadi, è stata ripetuta per l'anno di riferimento in modo tale da poter effettuare un confronto.

Inverno 2021			
Direzione	1 ≤ Nodi ≤ 10	11 ≤ Nodi ≤ 20	Nodi > 20
N	18,40	3,68	0,07
NE	12,66	6,50	0,21
E	3,63	0,32	0,00
SE	12,99	0,42	0,00
S	19,93	2,80	0,00
SW	6,99	0,93	0,09
W	5,16	0,21	0,00
NW	4,86	0,14	0,00

Tabella 3-11 Dati anemometrici - Inverno 2021

Dalle figure seguenti si può effettuare il confronto tra i dati anemometrici delle tre decadi con i dati relativi all'anno di riferimento, suddivisi per stagioni. In coerenza a quanto visto per il dato storico, la prima stagione analizzata è la stagione invernale.

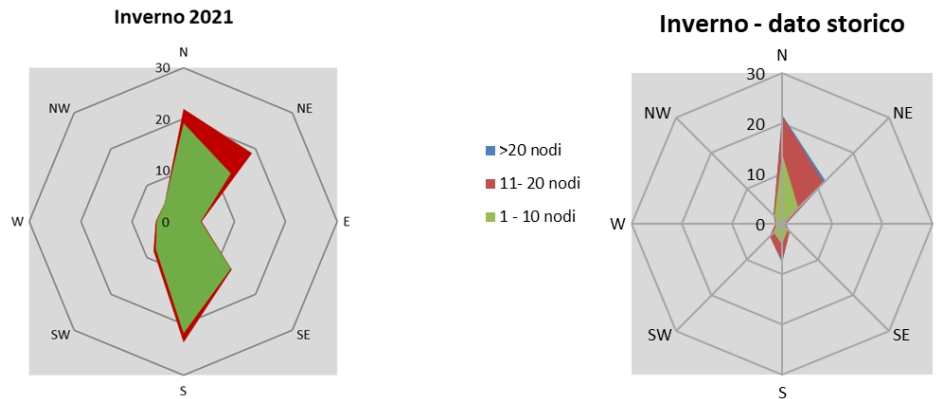


Figura 3-29 Confronto dati anemometrici stagione invernale (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

Dal confronto risulta come la direzione principale dei venti sia da Nord-Ovest in entrambi i casi. Per quanto riguarda le velocità dei venti, entrambe le rose dei venti presentano una prevalenza di velocità comprese tra le prime due classi. In linea generale è possibile affermare come vi sia una buona approssimazione del dato attuale rispetto allo storico per la stagione invernale. È bene, però, ricordare come le differenze principali possano essere ricondotte ad una differenza nella modalità di registrazione del dato storico, suddiviso in 8 classi di vento per direzione a differenza del dato attuale suddiviso in 16 classi e ricondotto in back analysis ad 8.

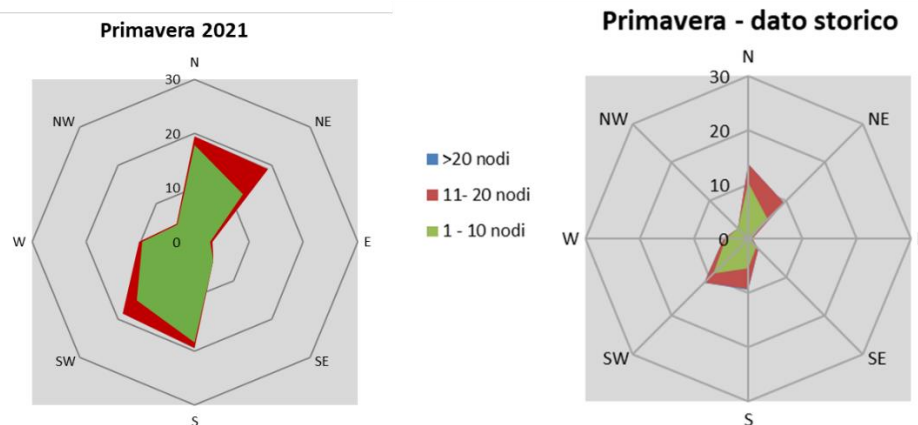


Figura 3-30 Confronto dati anemometrici stagione primaverile (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

Per la stagione primaverile, Figura 3-30, si ha, per entrambi gli archi temporali di riferimento, una buona percentuale di venti provenienti dal primo e dal terzo quadrante, con venti con velocità comprese principalmente tra 1 e 10 nodi. Anche per la stagione primaverile si registra una buona coerenza tra i due dati.

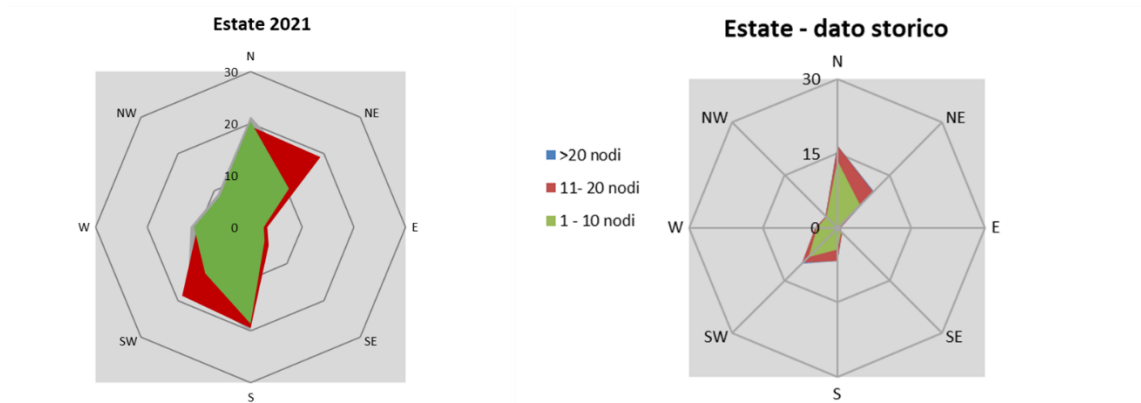


Figura 3-31 Confronto dati anemometrici stagione estiva (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

Anche per la stagione estiva, come già visto per quella primaverile, si può osservare una marcata provenienza di venti che spirano dal primo e terzo quadrante (cfr. Figura 3-31). Con riferimento all'intensità del vento, entrambi i dati (attuale e storico) mostrano un'alta percentuale di dati in classe 1. Coerentemente a quanto visto per la stagione primaverile, considerando la combinazione direzione ed intensità, è possibile evidenziare una buona corrispondenza tra i due dati.

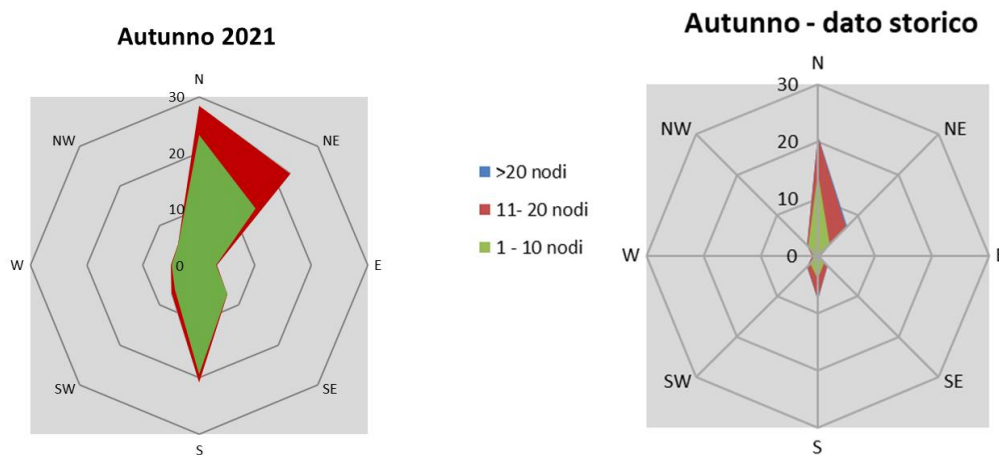


Figura 3-32 Confronto dati anemometrici stagione autunnale (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Perugia)

Ultimo confronto ha riguardato la stagione autunnale, così come mostrato in Figura 3-32. Analizzando il dato storico, la componente più marcata risulta essere la Nord per entrambe le rose dei venti, con una differenza per quanto riguarda la direzione sud che è più marcata per quanto riguarda i dati meteo del 2021. Per entrambi i grafici si ha comunque una prevalenza di venti con velocità appartenenti alla prima fascia.

Conclusioni

Alla luce di quanto esposto nei paragrafi precedenti in relazione all'aspetto meteorologico, è possibile evidenziare in generale, sia in termini anemometrici che termici, una buona corrispondenza del dato attuale relativo al 2021 con i dati provenienti dalle serie storiche fornite dall'Atlante Climatico per la stessa stazione meteo di riferimento. Pertanto, può essere considerato attendibile l'intervallo di analisi per l'anno 2021, che verrà nel proseguo della trattazione adottato per le simulazioni modellistiche.

4 ANALISI EMISSIVA

4.1 Analisi emissiva 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 [Gg]

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 4-1 Emissioni nazionali di NO_x (Fonte: INEA 2022 - ISPRA)

Emissioni di PM10 [Gg]

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 4-2 Emissioni nazionali di PM10 (Fonte: INEA 2022 - ISPRA)

Emissioni di PM2,5 [Gg]

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

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020
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 4-3 Emissioni nazionali di PM_{2,5} (Fonte: INEA 2022 - ISPRA)

Emissioni di CO [Gg]

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

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020
Trattamento 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 4-4 Emissioni nazionali di CO (Fonte: INEA 2022 - ISPRA)

4.2 Analisi emissiva 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.

Dall’Inventario sono state considerate le emissioni prodotte nell’anno 2018 (ultimo anno disponibile) dai diversi macrosettori.

Dall’osservazione della Tabella 4-5, a livello regionale si evince che:

- per le emissioni di ossidi di azoto (NO_x), 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 PM_{2,5};
- 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 t/anno	NOx t/anno	PM10 t/anno	PM2,5 t/anno	C ₆ H ₆ 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 4-5 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Regione Umbria (Fonte: elaborazione dati IRE)

Considerando lo stesso documento sopracitato, è stato possibile effettuare l'analisi emissiva anche a livello provinciale, con specifico riferimento alla Provincia di Perugia da cui si evince che:

- per le emissioni di ossidi di azoto (NOx), queste sono principalmente dovute al macrosettore "Trasporti stradali" per circa il 56% delle emissioni totali di ossidi di azoto;
- per il monossido di carbonio (CO), la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore "Riscaldamento", responsabile del 73% delle emissioni di CO per l'anno 2018 nella provincia di Perugia;
- per il particolato la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore "Riscaldamento", responsabile di circa il 78% delle emissioni di PM10 e circa l'89% di PM2,5;
- le emissioni di benzene (C₆H₆) sono dovute al macrosettore "Riscaldamento" per circa il 90% delle emissioni provinciali totali di benzene.

Macrosettore	CO t/anno	NOx t/anno	PM10 t/anno	PM2,5 t/anno	C ₆ H ₆ t/anno
Combustione nell'industria dell'energia	324,94	241,47	9,62	9,25	0,27
Riscaldamento	29064,52	960,65	5029,33	4907,69	426,52
Combustione industriale	1752,18	2775,97	12,13	11,24	11,07
Processi senza combustione	0,86	2,75	190,92	67,17	0,72
Estrazione e distribuzione dei combustibili fossili	0	0	0	0	0,04
Uso di solventi	0	0	7,38	7,38	0,00
Trasporti stradali	7948,96	5531,56	403,62	312,26	35,96
Altre sorgenti mobili	111,89	318,85	14,7	14,64	0,80
Trattamento e smaltimento rifiuti	365,64	11,71	32,44	28,32	0,16
Agricoltura	0	0	779,84	112,25	0,00
Natura	41,41	1,16	5,03	5,03	0,19
TOTALI	39610,4	9844,12	6485,01	5475,24	475,73

Tabella 4-6 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Provincia di Perugia (Fonte: elaborazione dati IRE)

Per il progetto in esame, è possibile far riferimento al macrosettore "Trasporto su strada" che comprende tutte le emissioni dovute alle automobili, ai veicoli leggeri e pesanti, ai motocicli e agli altri mezzi di trasporto su strada, comprendendo sia le emissioni dovute allo scarico che quelle da usura dei freni, delle ruote e della strada.

Relativamente agli inquinanti presi come riferimento nell'analisi del fattore ambientale Atmosfera, ossia il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NOx), il particolato (PM10 e PM2,5) e il benzene (C₆H₆), di seguito si riportano nel dettaglio le emissioni prodotte dal traffico veicolare nella provincia di Perugia distinte in funzione della categoria di veicolo.

Trasporti stradali	CO t/anno	NOx t/anno	PM10 t/anno	PM2,5 t/anno	C ₆ H ₆ t/anno
Automobili	4888,99	2895,02	97,41	97,41	19,95
Veicoli leggeri P < 3,5 t	323,7	528,68	38,8	38,8	1,27
Veicoli pesanti P > 3,5 t	554,2	2053,43	63,32	63,32	0,16
Motocicli cc < 50 cm ³	57,32	3,22	0,25	0,25	0,52
Motocicli cc > 50 cm ³	2124,75	51,21	2,61	2,61	7,93
Emissioni evaporative dai veicoli	0	0	0	0	6,14
Usura freni veicoli stradali	0	0	69,27	27,71	0
Usura gomme veicoli stradali	0	0	68,13	47,69	0
Abrasione strada veicoli stradali	0	0	63,82	34,46	0
TOTALI	7948,96	5531,56	403,61	312,25	19,95

Tabella 4-7 Emissioni provincia di Perugia 2018 (Fonte: elaborazione dati IRE)

In Tabella 4-8 si riassumono le emissioni complessivamente prodotte dal traffico veicolare nella Regione Umbria e nella Provincia di Perugia (2018).

Trasporto su strada	CO t/anno	NOx t/anno	PM10 t/anno	PM2,5 t/anno	C ₆ H ₆ t/anno
Regione Umbria	11580,1	8088,01	581,4	451,43	50,05
Provincia di Perugia	7948,96	5531,56	403,62	312,26	35,96
Contributo emissivo della Provincia sull'emissione Regionale	68,6%	68,4%	69,4%	69,2%	71,8%

Tabella 4-8 Ripartizione delle emissioni per il macrosettore "Trasporto su strada" (Fonte: elaborazione dati IRE)

5 CAMBIAMENTO CLIMATICO E GAS SERRA

5.1 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 scambi 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.

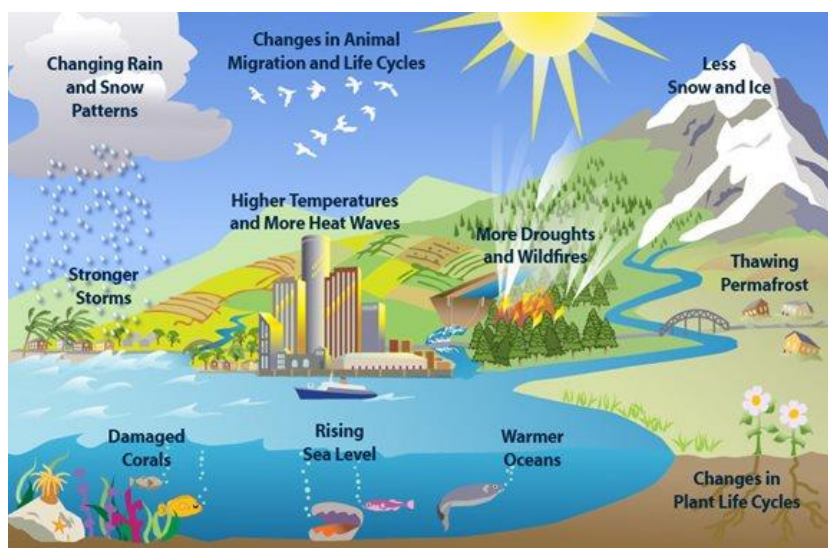


Figura 5-1 Rappresentazione effetti generati dai cambiamenti climatici sull'ambiente

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.

5.2 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.

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'elettificazione 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).

5.3 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.

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
CO ₂	92332	103532	111524	117112	104659	98347	96863	92744	95773	96604	77832
CH ₄	867	976	730	470	279	208	194	182	180	18	148
N ₂ O	838	1612	1488	1025	944	891	894	865	891	900	737
Totale	94037	106120	113743	118607	105881	99445	97952	93791	96844	97690	78717

Tabella 5-1 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.

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 5-2 Emissioni annue di gas serra per macrosettore, Regione Umbria (Fonte elaborazione dati Inventario Regionale delle Emissioni in atmosfera – ARPA Umbria 2018)

6 ANALISI DELLO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

6.1 *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.

Zonizzazione ai fini della valutazione della qualità dell'aria-ambiente

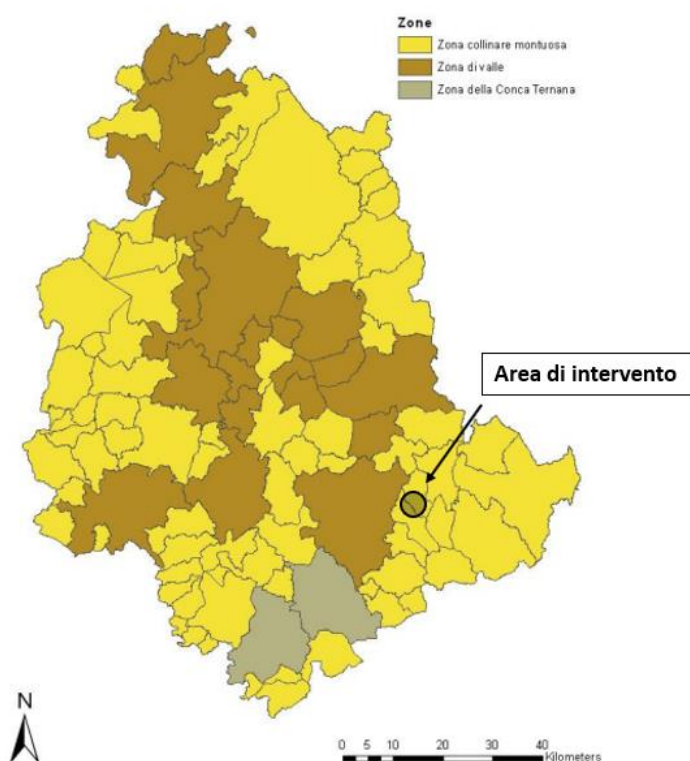


Figura 6-1 Zonizzazione ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente (Fonte: Piano Regionale per la Qualità dell'Aria)

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.

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 6-2 Stazione fisse di monitoraggio della qualità dell'aria (Fonte: "Valutazione della qualità dell'aria in Umbria Anno 2021")

In Figura 6-2 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 6-3.

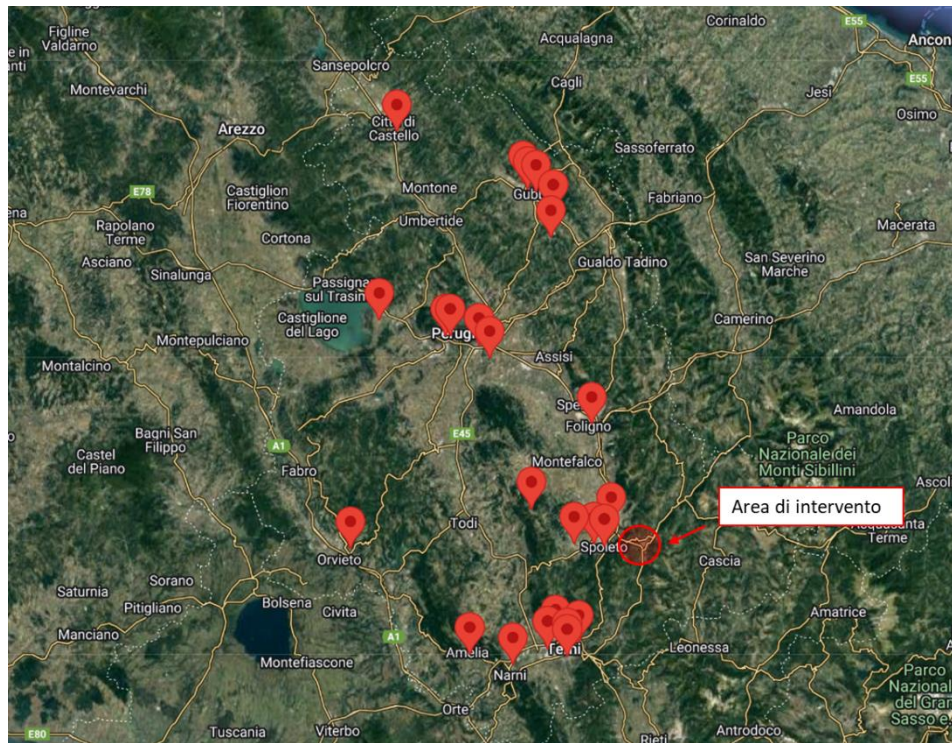


Figura 6-3 Localizzazione delle centraline per il rilevamento della qualità dell'aria nella Regione Umbria (Fonte: ARPA Umbria)

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, PM_{2,5}, NO_x e NO₂: la centralina di Spoleto – Madonna di Lugo, distante circa 8 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 9 km dall'area di intervento, caratterizzata come di "fondo urbana".

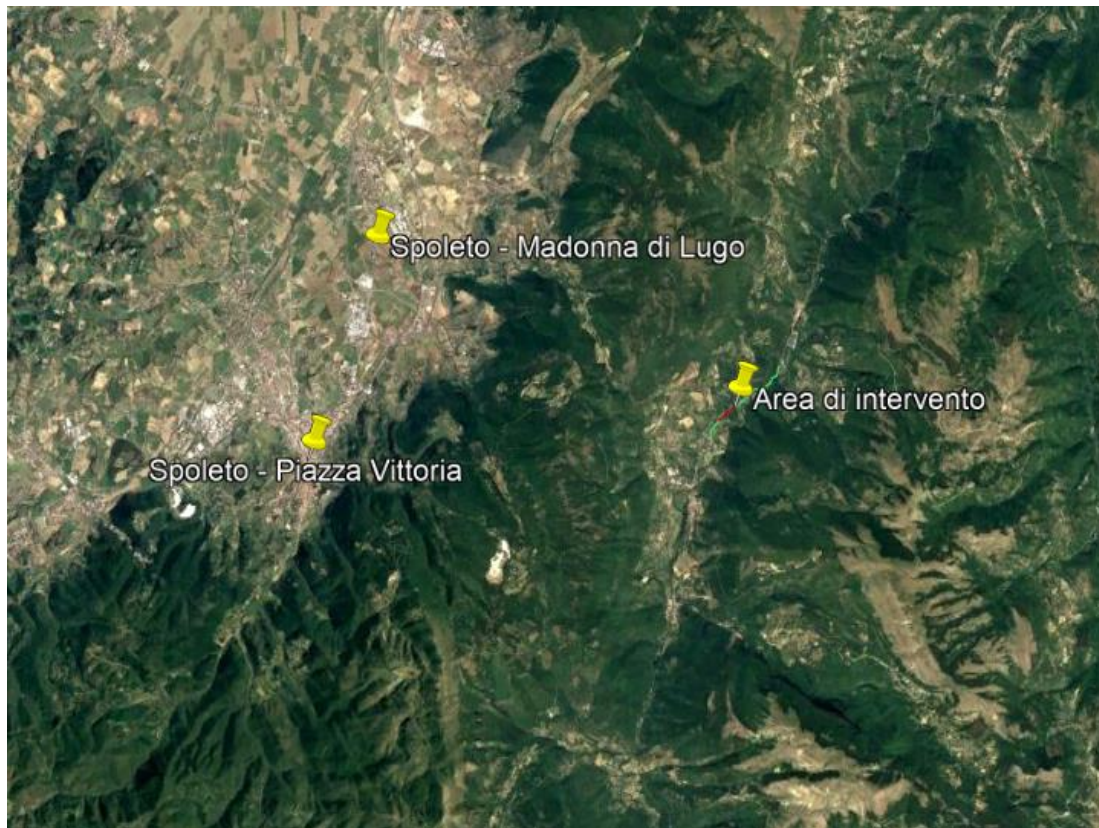


Figura 6-4 Localizzazione delle centraline di riferimento rispetto all'area di intervento

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.

6.2 Analisi degli inquinanti monitorati

6.2.1 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 NO_x 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 NO_x

Tramite i dati registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo è stato possibile analizzare l'evoluzione negli anni dell'inquinante NO_x, in particolare è stato preso in considerazione un intervallo temporale di 5 anni, dal 2018 al 2022. Nella Tabella 6-1 sono riportati tutti i valori calcolati per l'NO_x negli anni disponibili.

NO _x					
Anno	2018	2019	2020	2021	2022
Concentrazione media annua (µg/m ³)	-	-	-	13	15

Tabella 6-1 Concentrazione media annua di NO_x 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 6-2 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					
Anno	2018	2019	2020	2021	2022
Concentrazione media annua (µg/m ³)	32	17	11	9	10
N° superamenti del limite orario	0	0	0	0	0

Tabella 6-2 Concentrazione media annua e numero di superamenti del limite orario di NO₂ registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo (µg/m³) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

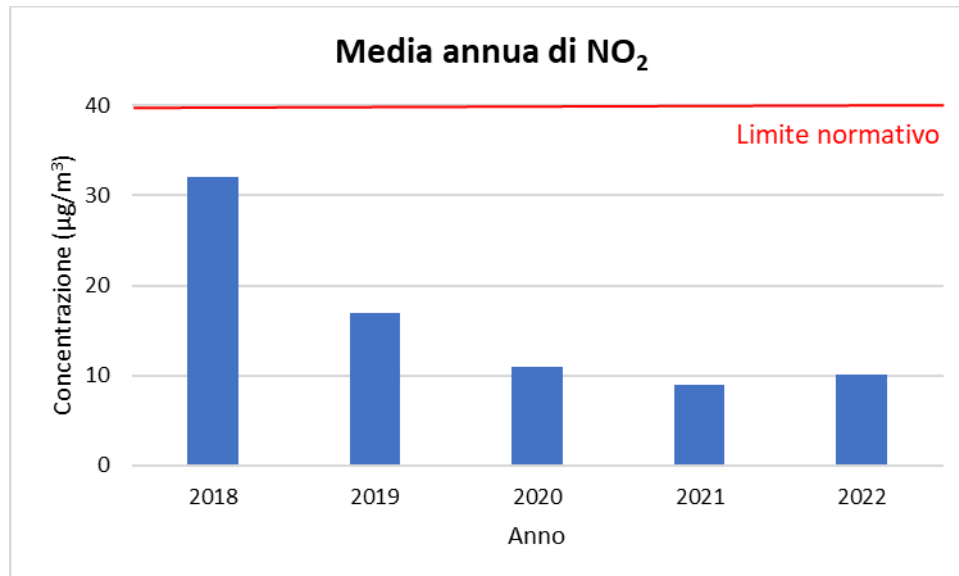


Figura 6-5 Concentrazione media annua di NO₂ registrata dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo (µg/m³) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Dalla tabella e figura precedenti 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.

Relazione NO_x - NO₂

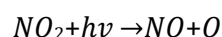
Il dato di partenza delle analisi, con particolare riferimento a quanto calcolato attraverso i modelli di analisi diffusionale degli inquinati, è relativo agli ossidi di azoto NO_x. Con tale termine generalmente vengono indicate le due componenti più importanti, ovvero l'ossido di azoto NO ed il biossido di azoto NO₂.

Tali ossidi sono prodotti dal processo di combustione e dipendono fortemente dalla temperatura e dalla presenza di ossigeno durante la combustione. In termini generali la produzione primaria di ossidi di azoto da combustione è perlopiù composta da ossido di azoto (90%) e solo da una quota parte di biossido di azoto (10%). Tuttavia, una volta emesso in atmosfera, l'NO prodotto nei processi di combustione si può convertire in NO₂, costituendo così una produzione secondaria di biossido di azoto, nonché producendo ozono.

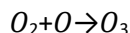
L'insieme di reazioni chimiche che intervengono nella trasformazione di NO in NO₂ è detto ciclo fotolitico.

Tale ciclo può essere schematizzato dalle seguenti reazioni.

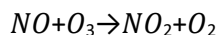
L'NO₂ prodotto nelle ore diurne assorbe energia dalle radiazioni UV, scindendosi in una molecola di NO ed in atomi di ossigeno reattivi:



Gli atomi di ossigeno altamente reattivi si combinano con le molecole di O₂ dando origine all'ozono O₃.



L'O₃ reagisce con l'NO per formare nuovamente NO₂ e O₂:



Le reazioni sin qui esposte rappresentano un ciclo che a sua volta rappresenta solo una quota parte delle reazioni chimiche che hanno luogo nella parte inferiore dell'atmosfera. Gli idrocarburi presenti in aria interferiscono nel ciclo, favorendo la conversione di NO in NO₂ in maniera più rapida rispetto al processo inverso, favorendo così l'accumulo di NO₂ e O₃ in atmosfera. Allo stesso modo andrebbero poi considerate le interazioni tra tali gas e l'umidità atmosferica, la quale porterebbe alla produzione acido nitrico e di nitrati.

Come descritto il processo di trasformazione da ossidi di azoto in biossido di azoto (inquinante rispetto al quale è possibile effettuare un confronto con i limiti normativi) è molto complesso e dipende da molte variabili.

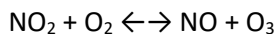
Per stimare tali valori esistono alcune leggi di correlazione empirica che permettono di valutare la quota parte di ossidi di azoto che si trasforma in biossido di azoto. Un esempio di valutazione è il metodo "Derwent and Middleton" 1996² il quale deriva da una stima di tipo empirico basata sul rapporto NO_x-NO₂ ricavato da numerose misure sperimentali nell'area di Londra.

Un altro metodo è quello sviluppato da "Düring et al." nel 2011³, anch'esso derivante da studi sperimentali di correlazione effettuati in Germania.

Da ulteriori fonti bibliografiche, "ARPA Emilia Romagna" ⁴, è stato evidenziato come il valore del rapporto NO₂/NO_x sia pari al 10% "...si può ritenere che la produzione di NO₂, quale inquinante primario, sia pari al 10 % dell'ossido di azoto complessivamente generato...".

Continuando l'analisi bibliografica è stato possibile determinare ulteriori relazioni relative alle trasformazioni degli NO_x nelle due componenti principali NO e NO₂. Uno studio condotto in Cina (Suqin Han et al., 2011)⁵ ha valutato il rapporto NO₂/NO_x relazionandolo all'ozono, O₃.

Werner SCHOLZ e Peter RABL, 2006⁶ hanno messo in evidenza come lo sviluppo, nel tempo, dei rapporti NO₂/NO_x e l'ozono O₃ indichi la correlazione fotochimica tra gli ossidi di azoto e ozono. Un approccio semplice è l'equilibrio foto-stazionario:



Secondo la legge di azione di massa si ha la seguente relazione:

² Derwent, R.G. and Middleton, D.R., 1996. An empirical function to the ratio NO₂: NO_x. Clean Air, 26: 57-60

³ Düring I, Bächlin W, Ketzel M, et al. (2011) A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions. Meteorologische Zeitschrift 20:67-73. doi: 10.1127/0941-2948/2011/0491

⁴ Arpa Emilia Romagna

⁵ Analysis of the Relationship between O₃, NO and NO₂ in Tianjin, China Suqin Han, Hai Bian, Yinchang Feng, Aixia Liu, Xiangjin Li, Fang Zeng, Xiaoling Zhang, 2011

⁶ Unexpectedly low decrease of NO₂ air pollution – Correlation with ozone concentration and altered exhaust emissions Werner SCHOLZ e Peter RABL, 2006

$$\frac{NO * O_3}{NO_2} = k$$

dove k è la costante di equilibrio.

Tuttavia, per la valutazione del caso in esame, ed in funzione delle variabili da cui dipende il ciclo di trasformazione sopraesposto, si è ritenuto importante considerare una legge empirica che potesse tener conto delle condizioni locali. A tale scopo è stata effettuata un'elaborazione specifica per determinare la correlazione tra NO_x e NO₂ in funzione dei dati rilevati dalla centralina della rete di monitoraggio della qualità dell'aria presa come riferimento, esposti precedentemente.

Dalla nuvola di punti, Figura 6-6, è stato possibile determinare una legge di regressione tra NO_x e NO₂.

Nel caso in esame siamo andati a valutare la relazione che intercorre tra NO_x e NO₂ rappresentandoli nel grafico sottostante calcolandoci l'equazione della retta che rappresenta l'interazione che intercorre tra i due elementi e il coefficiente di correlazione R² che ci permette di quantificare la forza della relazione lineare tra le due variabili. R² può assumere valori che vanno da -1 ad 1, dove 1 è indice di correlazione positiva in cui i valori delle due variabili tendono ad aumentare in parallelo. Nel caso in esame il valore di R² risulta essere pari a 0,78 per cui la retta può essere considerata un'ottima rappresentazione delle due variabili.

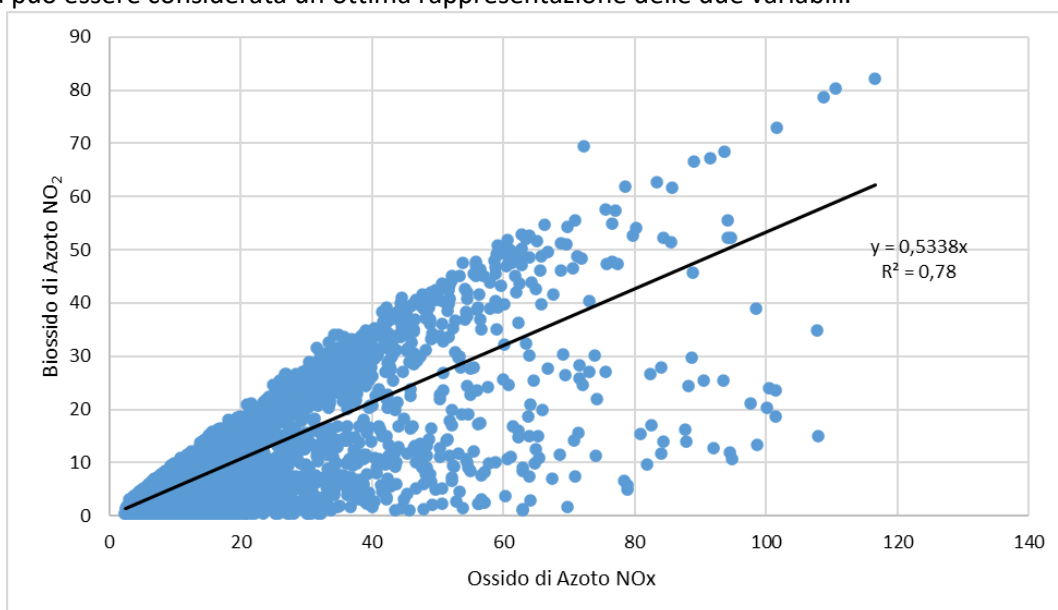


Figura 6-6 Nuvola di punti concentrazioni NO_x - NO₂ valori orari (µg/m³) (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

6.2.2 Particolato

Caratteristiche ed effetti sull'uomo e sull'ambiente

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 PM_{2,5} che rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 2,5 micron. Le PM_{2,5} 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, schermata 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 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Anno	2018	2019	2020	2021	2022
Concentrazione media annua	19	16	21	17	19
N° superamenti del limite giornaliero	5	0	9	5	5

Tabella 6-3 Concentrazione media annua e numero di superamenti del limite giornaliero 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)

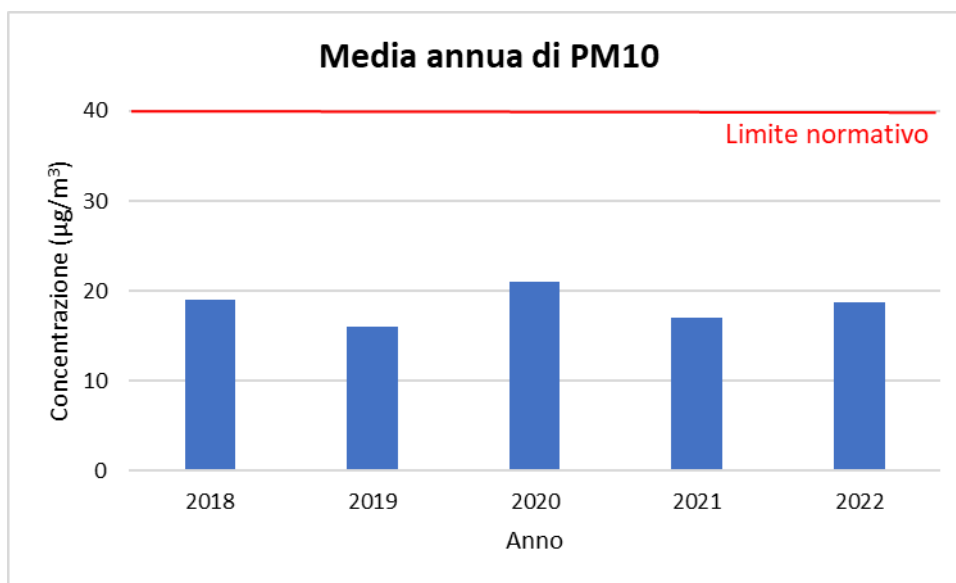


Figura 6-7 Concentrazione media annua di PM10 registrata dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Si può notare come il limite annuo pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, non è mai stato superato (cfr. Tabella 6-4 e Figura 6-7).

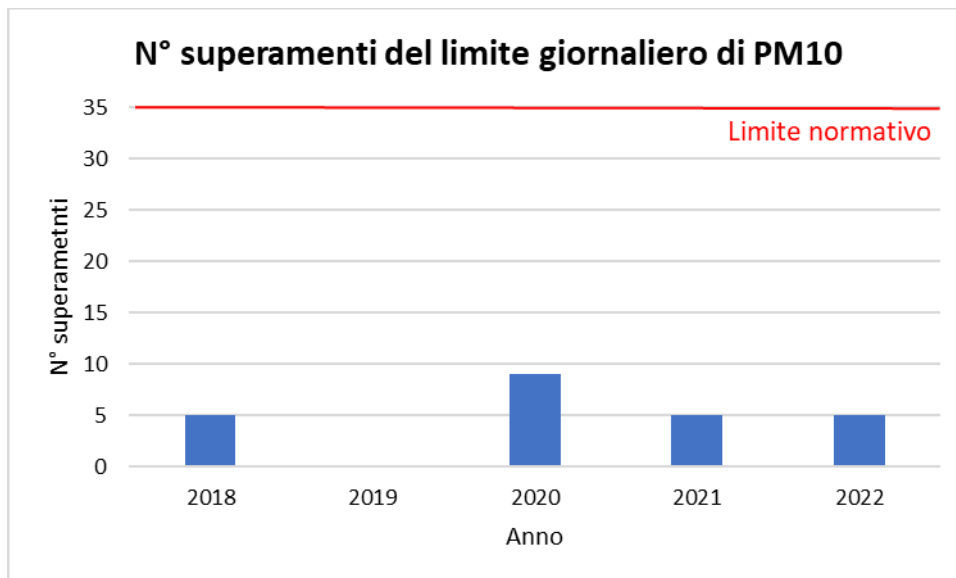


Figura 6-8 Numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cfr. Tabella 6-3 e Figura 6-8).

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 e figura seguenti.

PM2,5

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

Tabella 6-4 Concentrazione media annua di PM2,5 registrata dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

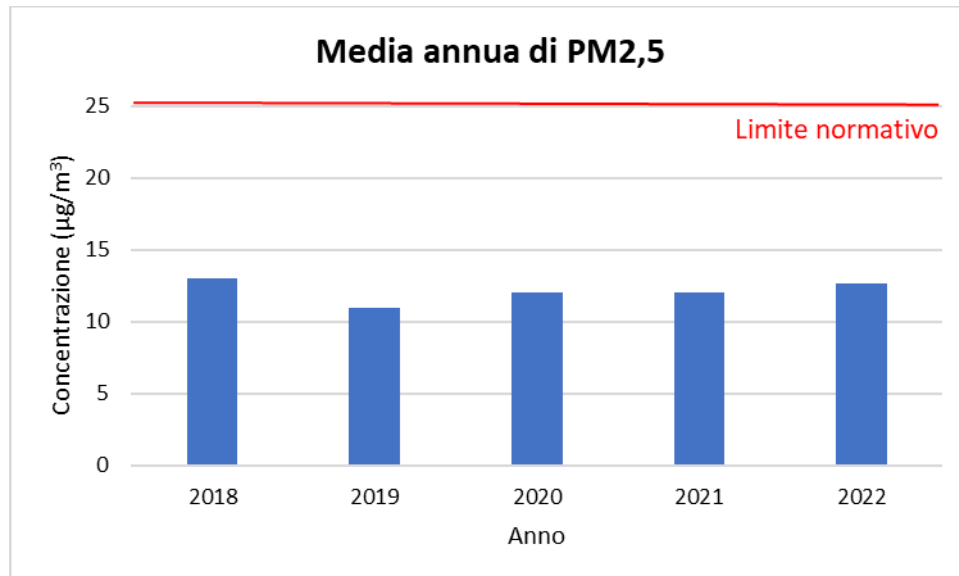


Figura 6-9 Concentrazione media annua di PM_{2,5} registrata dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo (µg/m³) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Come si può osservare la centralina non ha registrato superamenti del limite annuo del PM_{2,5} pari a 25 µg/m³. In particolare, i valori medi annui registrati per tale inquinante nel periodo 2018-2022 si mantengono costanti tra i 11 e i 13 µg/m³.

6.2.3 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 6-6, 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.

Concentrazione massima media calcolata su 8 ore consecutive di CO (mg/m³)

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

Tabella 6-5 Concentrazione massima giornaliera calcolata su 8 ore consecutive di CO registrata dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria (mg/m³) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

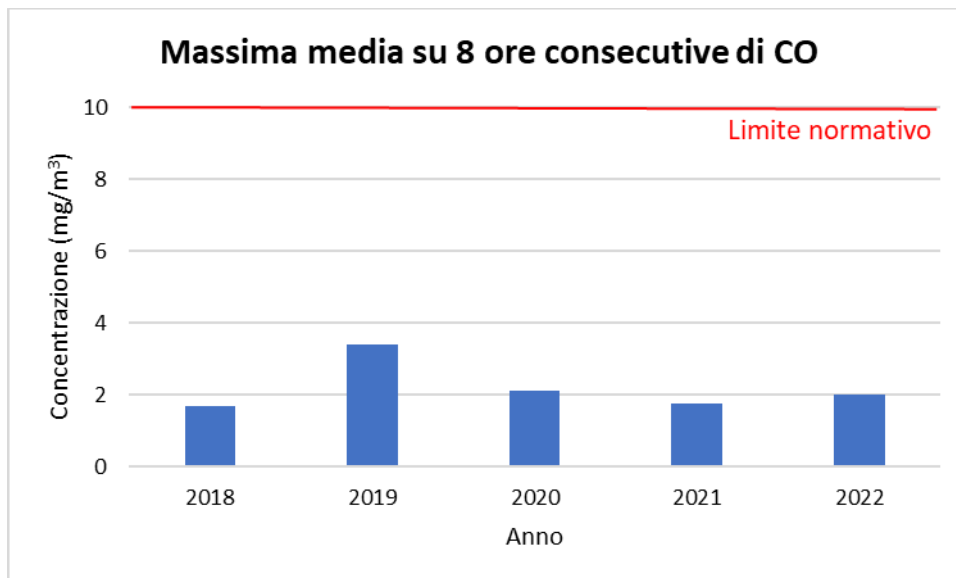


Figura 6-10 Concentrazione massima media calcolata su 8 ore consecutive di CO registrata dalla centralina di Spoleto – Madonna di Lugo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

Come si osserva in Tabella 6-5 e in Figura 6-10, 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 $3,4 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Nella seguente tabella sono invece riportati i valori medi annui di CO registrati negli anni disponibili.

Concentrazione media annua di CO (mg/m^3)

2018	2019	2020	2021	2022
-	-	-	0,7	0,7

Tabella 6-6 Concentrazione media annua di CO registrata dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria (mg/m^3) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

6.2.4 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.

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

2018	2019	2020	2021	2022
0,8	0,6	0,9	0,8	1,2

Tabella 6-7 Concentrazione media annua di benzene registrata dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

La Figura 6-11 , come già espresso nella sopracitata tabella, mette in luce come per l'intero periodo di riferimento il limite normativo di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sia ampiamente rispettato, mantenendosi sempre inferiore agli $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e raggiungendo un minimo nell'anno 2019 in cui viene registrata una concentrazione media pari a $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

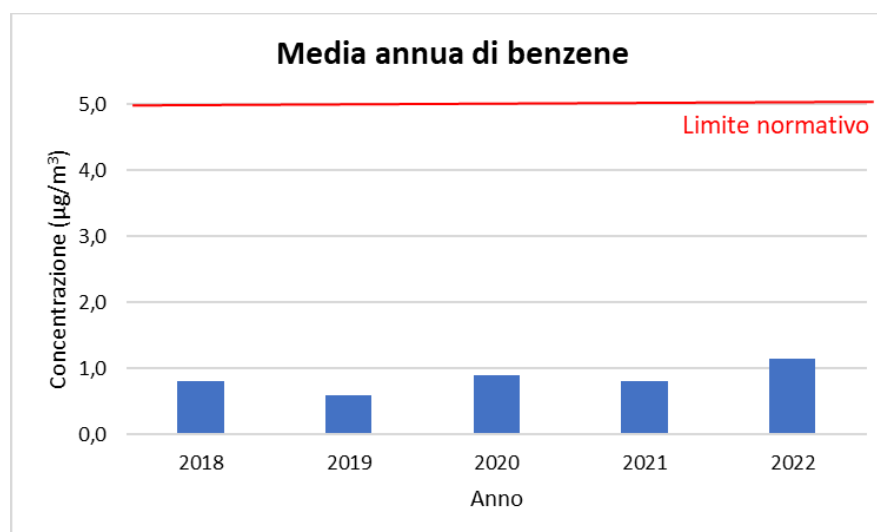


Figura 6-11 Concentrazione media annua di benzene registrata dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nel periodo 2018-2022 (Fonte: elaborazione dati ARPA Umbria)

6.2.5 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 NO_x, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5};
- dalla centralina di Spoleto – Piazza Vittoria, caratterizzata come di "fondo urbana", sono state invece prese le concentrazioni relative a CO e C₆H₆.

La Tabella 6-8 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	NO _x	15 µg/m ³
	NO ₂	10 µg/m ³
	PM ₁₀	19 µg/m ³
	PM _{2,5}	13 µg/m ³
Spoleto – Piazza Vittoria	CO	0,7 mg/m ³
	Benzene C ₆ H ₆	1,2 µg/m ³

Tabella 6-8 Valori di qualità dell'aria media annua (2022)

7 I MODELLI DI SIMULAZIONE UTILIZZATI

7.1 Copert V

Ci si è avvalsi di alcuni modelli di simulazione al fine di condurre le analisi diffusionali generate dall'opera in esame. Nello specifico, per la stima dei fattori di emissione derivanti da traffico stradale si è fatto riferimento al software di calcolo COPERT 5. Il software sopracitato è lo standard europeo per la valutazione delle emissioni da traffico veicolare stradale. Lo sviluppo del software COPERT è coordinato dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, all'interno delle attività del "European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation". Responsabile dello sviluppo scientifico è il European Commission's Joint Research Centre. Il modello è stato realizzato ed è utilizzato per gli inventari delle emissioni stradali degli stati membri.

La metodologia utilizzata da COPERT 5 è parte integrante del EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook per il calcolo dell'inquinamento atmosferico ed è in linea con gli orientamenti IPCC per il calcolo delle emissioni di gas a effetto serra.

COPERT 5 trae le sue origini da una metodologia sviluppata da un gruppo di lavoro che è stato istituito in modo esplicito a tale scopo nel 1989 (COPERT 85). Questo è stato poi seguito da versioni successive aggiornate, fino ad arrivare alla versione attuale che rappresenta una sintesi dei risultati delle varie attività su larga scala e progetti dedicati, quali:

- a) Progetti dedicati finanziati dal Centro comune di ricerca/Trasporti e l'Unità Qualità dell'aria;
- b) Programma annuale di lavoro del "European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC / ACM)";
- c) Programma di lavoro del "European Research Group on Mobile Emission Sources (Ermes)";
- d) Progetto MEET (Methodologies to Estimate Emissions from Transport), una Commissione Europea (DG VII) che ha promosso il progetto all'interno del 4 ° Framework Program (1996-1998);
- e) Il progetto particolare (Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles), una Commissione europea (DG Transport) PROGETTO nell'ambito del 5° Framework Program (2000-2003);
- f) Il progetto ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems), una Commissione europea (DG Trasporti) PROGETTO nell'ambito del 5° Framework Program (2000-2007);
- g) Il progetto congiunto JRC/CONCAWE/ACEA sull' evaporazione del carburante da veicoli a benzina (2005-2007)⁷.

Attraverso alcuni dati di input, quali la composizione del parco veicolare circolante e la velocità media è possibile calcolare i fattori di emissioni corrispondenti per ogni tipologia di veicolo e per ogni inquinante considerato.

⁷ Informazioni tratte dal sito <http://www.emisia.com>

7.2 Calroads

Il software utilizzato per l'analisi delle concentrazioni degli inquinanti prodotti dal traffico veicolare, invece, è Calroads View. Questo software integra su un'unica piattaforma grafica tre modelli differenti per l'analisi delle concentrazioni da traffico veicolare:

- Caline 4;
- CAL3QHC;
- CAL3QHCR.

Nel caso in esame è stato utilizzato, per la modellazione dell'area, il modello CAL3QHCR. Questo modello è una versione evoluta del modello CAL3QHC che è in grado di processare un intero anno di dati meteorologici. Inoltre, è possibile imputare al modello i fattori di emissione generati dai veicoli ed il volume di traffico.

Il software, al fine di analizzare i dati meteorologici è integrato con un processore meteorologico specifico, RAMMET View, il quale partendo dai rilievi meteorologici a terra ed in quota è in grado di processare i dati al fine di poter generare un file di input utile per l'analisi delle dispersioni. Rammet View al suo interno contiene uno specifico processore, che attraverso leggi di correlazione specifiche è in grado di stimare il file del profilo meteorologico in quota a partire dai dati a terra.

Dal punto di vista progettuale il software permette di modellare ogni "link" simulato in termini di geometrie e caratteristiche, definendo sia l'altezza del link sia la geometria che influenza le diffusioni, così come mostrato in Figura 7-1.

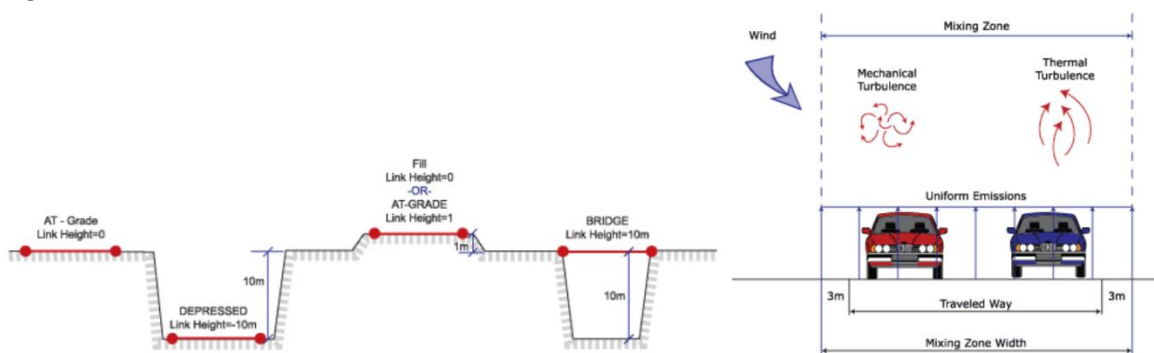


Figura 7-1 Modellazione geometrica del tracciato

Il software inoltre è in grado di poter modellare ogni singolo link secondo la tecnica di flusso libero o in coda. Rispetto a quest'ultimo aspetto il modello permette di definire due differenti tipologie di parametri emissivi: nel caso di flusso libero il parametro emissivo risulta calcolato in g/km, mentre in caso di coda in g/h considerando quindi l'effetto generato dai veicoli fermi in coda in attesa di utilizzare l'intersezione.

In ultimo il software consente di inserire i ricettori quali punti di calcolo del modello. I ricettori possono essere inseriti come singolo punto, come link di punti o come maglia di punti.

Per quanto riguarda la prima tipologia di ricettore, occorre definire la posizione in termini di X, Y e Z. Per la seconda tipologia invece, definito un link di riferimento è possibile creare una linea di ricettori parallela al link selezionato posto ad una distanza D e spazati tra loro di una distanza S, come mostrato in Figura 7-2. Per quanto

riguarda la maglia, infine, occorre identificare il passo e il numero di punti nelle due dimensioni X e Y.



Figura 7-2 Esempio di ricettori a link

7.3 Aermod View

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

AERMOD View incorpora i principali modelli di calcolo utilizzati dall'U.S. EPA attraverso un'interfaccia integrata. Si distinguono, in particolare, tre modelli:

- Aermod;
- ISCST3;
- ISC-PRIME.

In particolare, AERMOD è un modello di tipo Gaussiano (Steady-state Gaussian plume air dispersion model) basato su un modello di stabilità atmosferica di tipo "Planetary boundary layer theory"⁸, che consente di valutare, attraverso algoritmi di calcolo, i fattori di deflessione degli edifici, i parametri di deposizione al suolo degli inquinanti, l'effetto locale dell'orografia del territorio ed in ultimo i calcoli relativi alle turbolenze meteorologiche.

⁸ AERMOD Tech Guide – Gaussian Plume Air Dispersion Model. Version 7.6

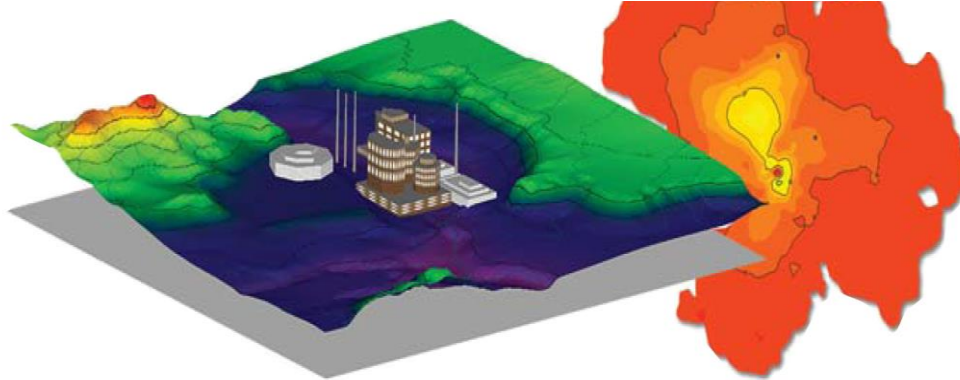


Figura 7-3 Aermid View Esempio di modellazione grafica 3D delle curve di isoconcentrazione

Il codice AERMOD è stato sviluppato dall'American Meteorological Society – EPA, quale evoluzione del modello gaussiano ISC3. La dispersione in atmosfera della sostanza inquinante è funzione delle condizioni di stabilità atmosferica dell'area di riferimento stessa⁹:

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

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

- puntuali;
- lineari;
- areali;
- volumiche.

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

Poiché il modello è di tipo stazionario, le emissioni sono assunte costanti nell'intervallo temporale di simulazione, tuttavia, è possibile fornire al modello stesso una differenziazione relativa ai fattori di emissioni calcolati nel giorno, ovvero definire per ogni ora del giorno un fattore di emissione relativo alla sorgente i-esima differente. Questa opzione di calcolo risulta particolarmente utile per la definizione delle concentrazioni derivanti da sorgenti che non utilizzano cicli di lavoro continui relativi alle 24h.

⁹ US EPA, User Guide for the AMS EPA regulatory model AERMOD – USA (2004)

Infine, vengono considerati anche gli effetti derivanti dalla conformazione degli edifici. Grazie al modellatore 3D è possibile avere una rappresentazione grafica dell'area d'intervento sia in termini di terreno che in termini di edifici e sorgenti.

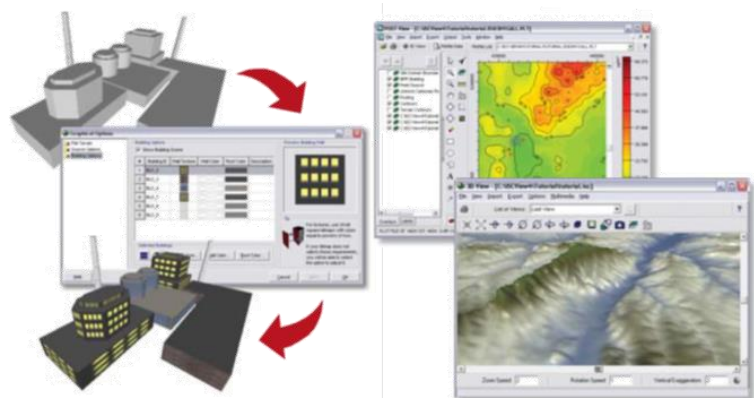


Figura 7-4 Esempio di modulo di visualizzazione 3D integrato nel modello di calcolo

In ultimo, il modello si avvale di due ulteriori modelli per la definizione degli input meteorologici e territoriali. Il primo modello, AERMET, consente di elaborare i dati meteorologici rappresentativi dell'area d'intervento, al fine di calcolare i parametri di diffusione dello strato limite atmosferico. Esso permette, pertanto, ad AERMOD di ricavare i profili verticali delle variabili meteorologiche più influenti. Il secondo modello, AERMAP, invece, consente di elaborare le caratteristiche orografiche del territorio in esame.

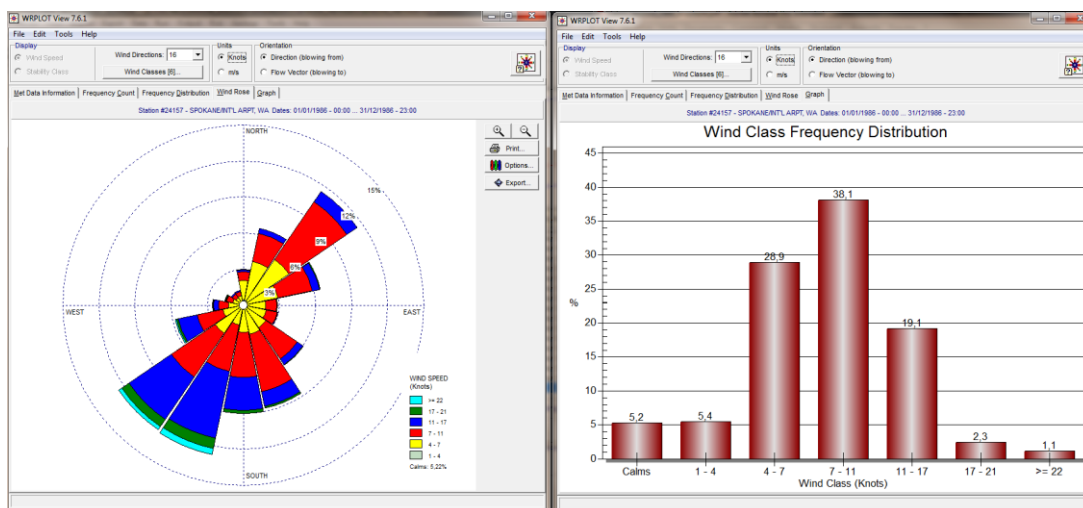


Figura 7-5 Esempio di applicazione del modulo AERMET

Come accennato, l'output del modello è rappresentato dalla stima delle concentrazioni di inquinanti in riferimento ai ricettori scelti. Qualora si scelga di rappresentare i risultati attraverso una maglia, il software, grazie ad algoritmi di interpolazione è in grado di ricostruire le curve di isoconcentrazione, al fine di determinare

una mappa di isoconcentrazione degli inquinanti.

Per maggiore chiarezza si può fare riferimento ad una struttura semplificata dell'intero processo di simulazione del software che può essere rimandata a due famiglie di parametri:

- parametri territoriali;
- parametri progettuali.

La prima famiglia di parametri è rappresentata da tutti i parametri propri del territorio ed in particolare i parametri meteorologici ed i parametri orografici. È evidente come i parametri appena citati possano essere assunti costanti nel tempo, per quello che riguarda la parte orografica, e come invece debbano essere considerati variabili nel tempo, anche se affetti da un andamento periodico, i parametri meteorologici.

Questi due parametri, computati in maniera contemporanea, determinano le modalità di diffusione, definendo, ad esempio, i diversi campi di vento a cui è sottoposta l'area in esame nei diversi periodi dell'anno.

La seconda famiglia di parametri, definisce, invece, il quadro "Emissivo" del progetto, ovvero definisce tutti i fattori di emissione relativi alle differenti attività effettuate all'interno del processo realizzativo dell'opera.

Una volta stimate le due famiglie di parametri, il modello di simulazione ne analizza le diverse correlazioni possibili, andando a valutare gli effetti relativi alla presenza della sorgente atmosferica i-esima situata in un'area territoriale e attiva in uno specifico arco temporale, considerando le condizioni meteorologiche relative alla stessa area e nello stesso arco temporale, definendo le curve di isoconcentrazione necessarie alle valutazioni degli impatti dell'opera sui ricettori sensibili.

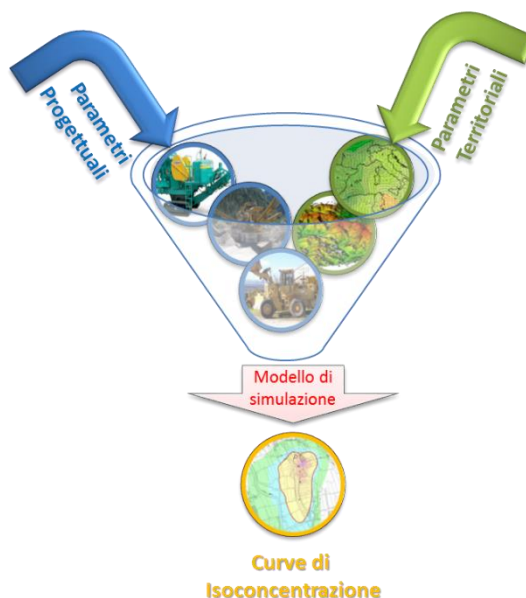


Figura 7-6 Definizione logica del modello adottato

8 LE SIMULAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO

8.1 *La definizione degli scenari e le analisi condotte*

Attraverso il software di simulazione Calroads è stato possibile determinare i valori di concentrazione degli inquinanti di interesse (NO_x, 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 al 2036.

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 *Gli input del modello di calcolo*

8.2.1 *Input meteorologici*

Uno degli input fondamentali per l'analisi delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera è il dato meteo. Per ricreare lo scenario diffusivo caratteristico del sito simulato è stato necessario costruire un file meteorologico compatibile con il modello di simulazione Calroads. Per entrambi gli scenari (scenario attuale e scenario di progetto) sono stati considerati i dati meteoroclimatici misurati dalla stazione di Perugia (par 3.2) nel 2021.

8.2.2 *Input progettuali*

8.2.2.1 LA COMPOSIZIONE DEL PARCO VEICOLARE CIRCOLANTE

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.

Autovetture Regione Umbria - Scenario attuale											
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non identificato	TOTALE
BENZINA	Fino a 1400	34.722	6.192	24.500	24.036	46.924	21.943	43.940		185	202.442
	1401 - 2000	7.998	3.175	6.147	3.199	5.947	1.831	3.773		33	32.103
	Oltre 2000	1.498	404	581	511	942	247	459		10	4.652
	Non definito	10								2	12
BENZINA Totale		44.228	9.771	31.228	27.746	53.813	24.021	48.172		230	239.209
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 1400	2.445	400	1.264	1.304	11.278	7.450	15.291		3	39.435
	1401 - 2000	2.229	773	1.190	683	2.677	1.263	1.708		2	10.525
	Oltre 2000	132	46	75	77	181	7	5		1	524
	Non definito					1					1
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		4.806	1.219	2.529	2.064	14.137	8.720	17.004		6	50.485
BENZINA E METANO	Fino a 1400	1.092	279	1.148	850	8.785	10.620	11.180		2	33.956
	1401 - 2000	635	277	554	598	1.628	48	68		2	3.810
	Oltre 2000	32	7	27	20	109	14				209
BENZINA E METANO Totale		1.759	563	1.729	1.468	10.522	10.682	11.248		4	37.975
ELETTRICITA	Non contemplato								1.086		1.086
ELETTRICITA Totale									1.086		1.086
GASOLIO	Fino a 1400	868	58	53	6.045	28.908	16.860	11.789		1	64.582
	1401 - 2000	4.546	1.297	8.610	24.323	42.020	44.038	74.122		2	198.958
	Oltre 2000	3.429	1.239	4.514	6.654	6.808	4.679	5.890		2	33.215
	Non definito	3									3
GASOLIO Totale		8.846	2.594	13.177	37.022	77.736	65.577	91.801		5	296.758
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						36	1.040			1.076
	Oltre 2000	1					4	268			273
IBRIDO GASOLIO Totale		1					40	1.308			1.349
METANO	Fino a 1400	18	4	10	9	16	899	3.696			4.652
	1401 - 2000	19	4	3	42	913	360	1.680			3.021
	Oltre 2000			1			1				2
METANO Totale		37	8	14	51	929	1.260	5.376			7.675
ALTRE	Fino a 1400	11									11
ALTRE Totale		11									11
NON DEFINITO	Fino a 1400	9				1					10
	1401 - 2000	1				1				1	3
	Oltre 2000				1						1
	Non definito	3									3
NON DEFINITO Totale		13			1	2				1	17
TOTALE Umbria		59.701	14.155	48.677	68.352	157.180	110.736	185.050	1.086	246	645.183

Tabella 8-1 Suddivisione Autovetture, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

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
								48		48
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5							97		97
								97		97
METANO	Fino a 3,5	2		1	5	154	128	150		440
		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 8-2 Suddivisione Veicoli industriali leggeri, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Veicoli industriali pesanti Regione Umbria - Scenario attuale											
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5	33	1	1	1	2				2	40
BENZINA Totale		33	1	1	1	2				2	40
BENZINA E GAS LIQUIDO	Oltre 3,5	2	1	2	1	2					8
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		2	1	2	1	2					8
ELETTRICITA	Non contemplato								44		44
ELETTRICITA Totale									44		44
GASOLIO	3,6 - 7,5	1153	218	488	548	283	203	237		11	3141
	7,6 - 12	1009	164	369	368	60	153	173		5	2301
	12,1 - 14	222	19	34	34	6	30	15		3	363
	14,1 - 20	464	130	327	381	55	225	159		4	1745
	20,1 - 26	783	163	481	521	64	421	490			2923
	26,1 - 28	2			2		1	56			61
	28,1 - 32	5	25	121	255	27	130	98			661
	Oltre 32	25	1	7	7	2	1	7			50
GASOLIO Totale		3663	720	1827	2116	497	1164	1235		23	11245
METANO	Oltre 3,5	1			1		18	41			61
METANO Totale		1			1		18	41			61
TOTALE Umbria		3699	722	1830	2119	501	1182	1276	44	25	11398

Tabella 8-3 Suddivisione Veicoli industriali pesanti, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Autobus Regione Umbria - Anno 2021										
USO	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Non contemplato	Non definito	TOTALE
Noleggio	65	35	128	140	67	131	173			739
Privato	84	34	52	26	13	10	14			233
Pubblico	53	19	93	213	56	113	52			599
Altri usi	4	1	2	5	1					13
Non contemplato								17		17
TOTALE Umbria	206	89	275	384	137	254	239	17		1.601

Tabella 8-4 Suddivisione Autobus, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

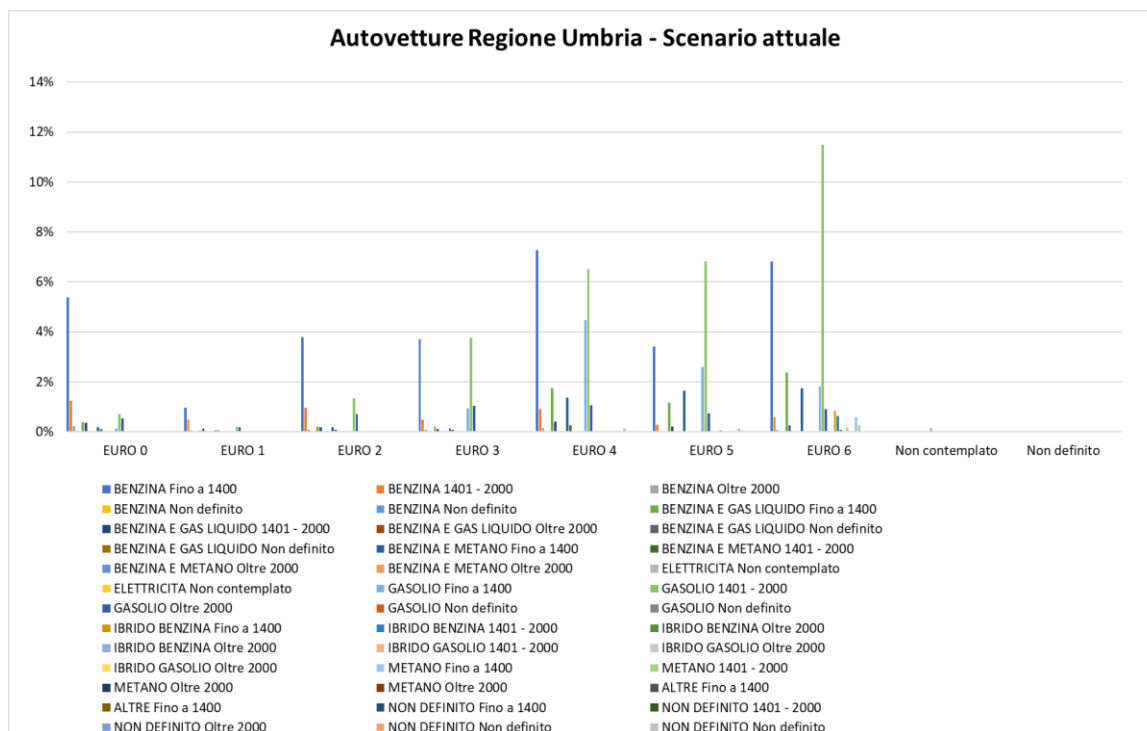


Figura 8-1 Suddivisione percentuale Autovetture, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

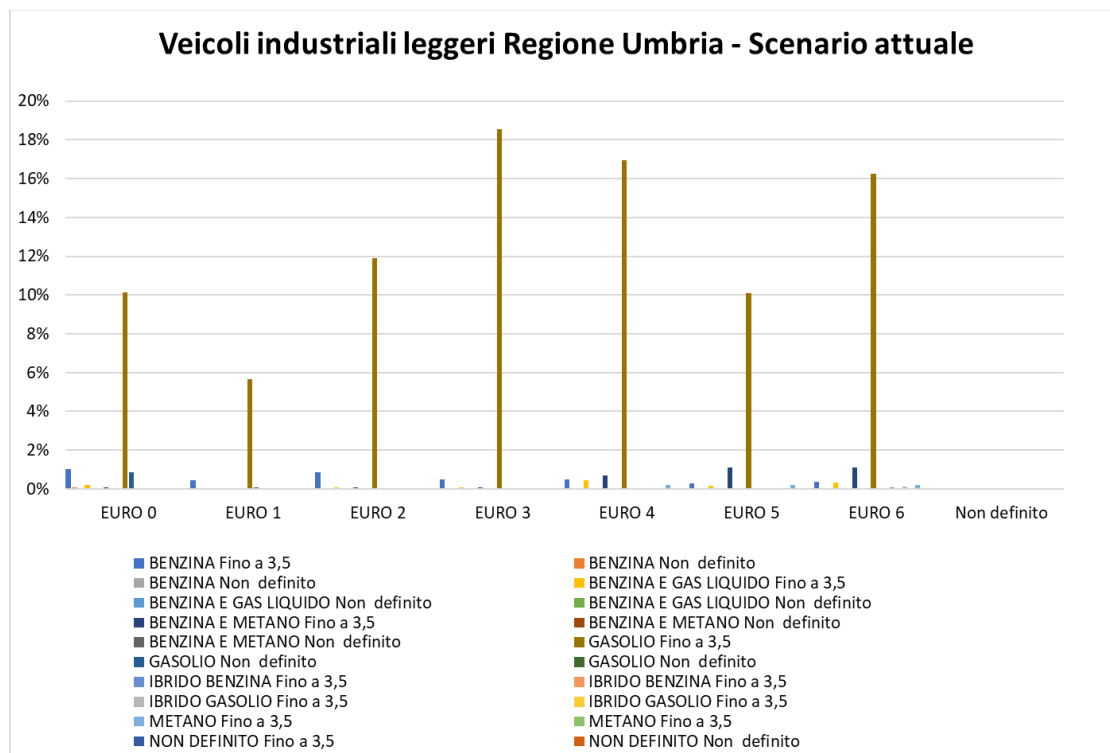


Figura 8-2 Suddivisione percentuale Veicoli industriali leggeri, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

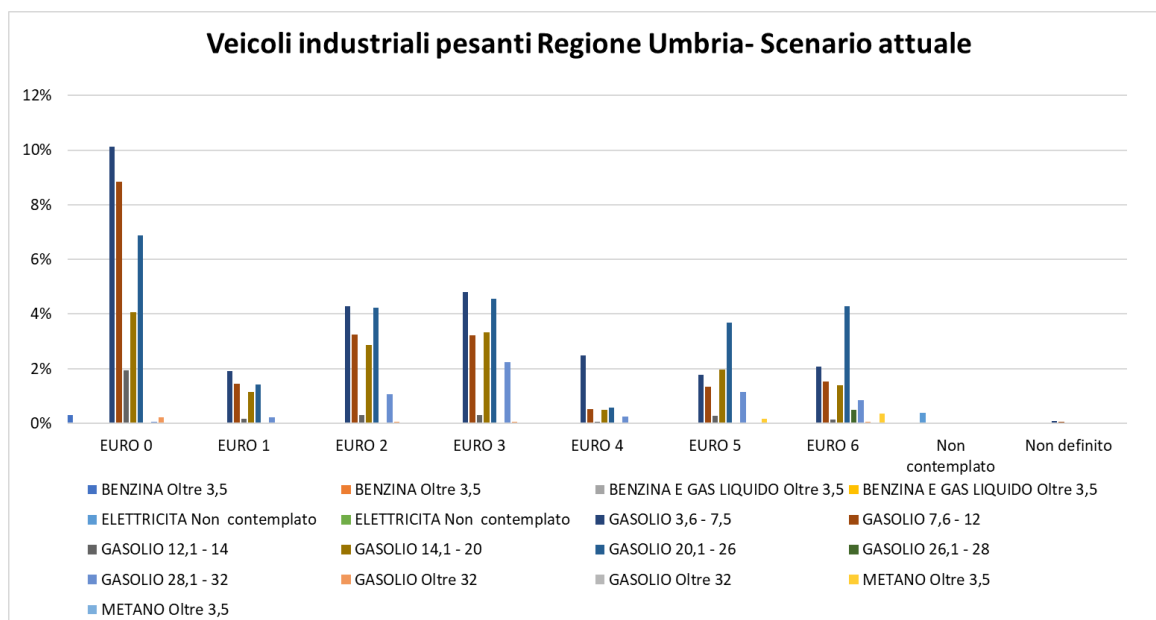


Figura 8-3 Suddivisione percentuale Veicoli industriali pesanti, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

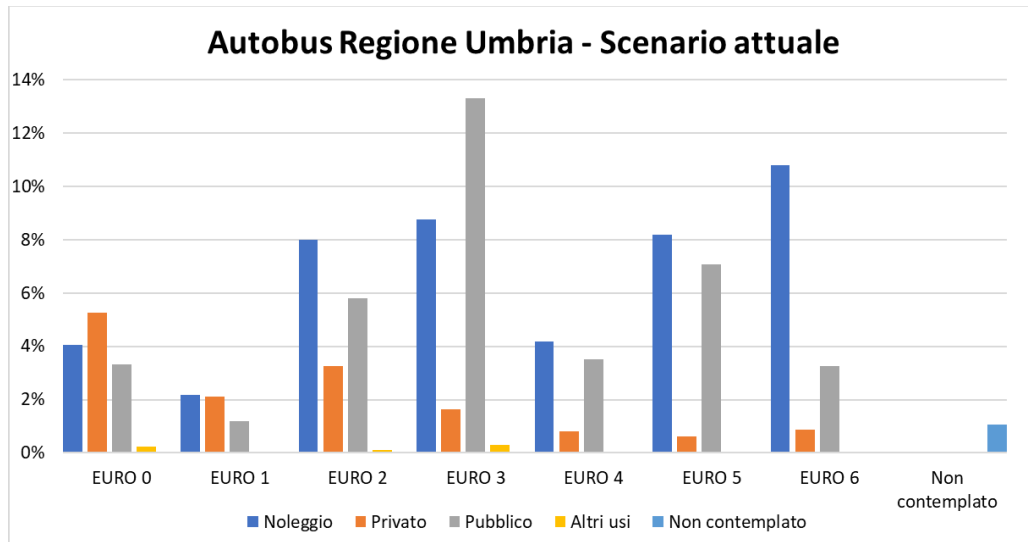


Figura 8-4 Suddivisione percentuale Autobus, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

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.

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		0	0	0	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 8-5 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
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 8-6 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
	Oltre 32	7	7	2	1	33	0	0	50
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 8-7 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 8-8 Suddivisione Autobus prevista per il 2036, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

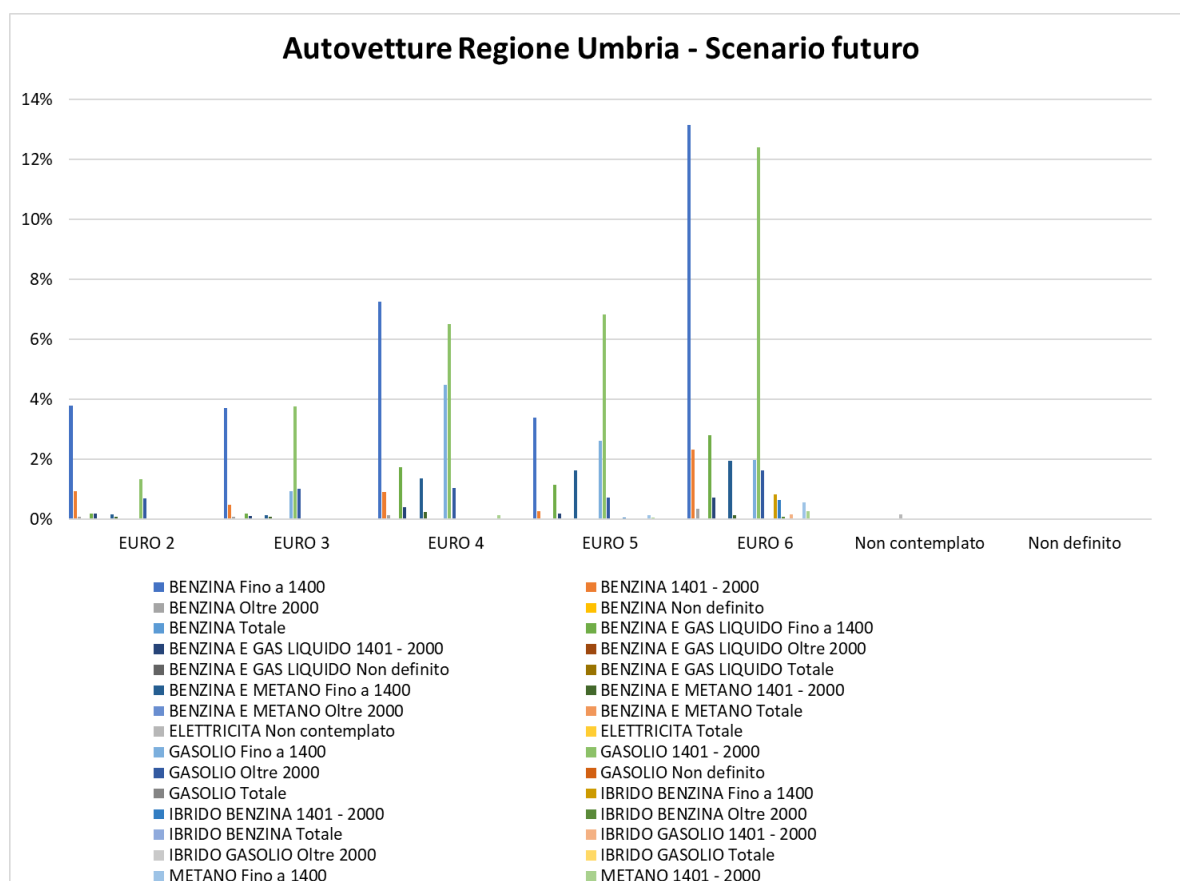


Figura 8-5 Suddivisione percentuale Autovetture prevista al 2036, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

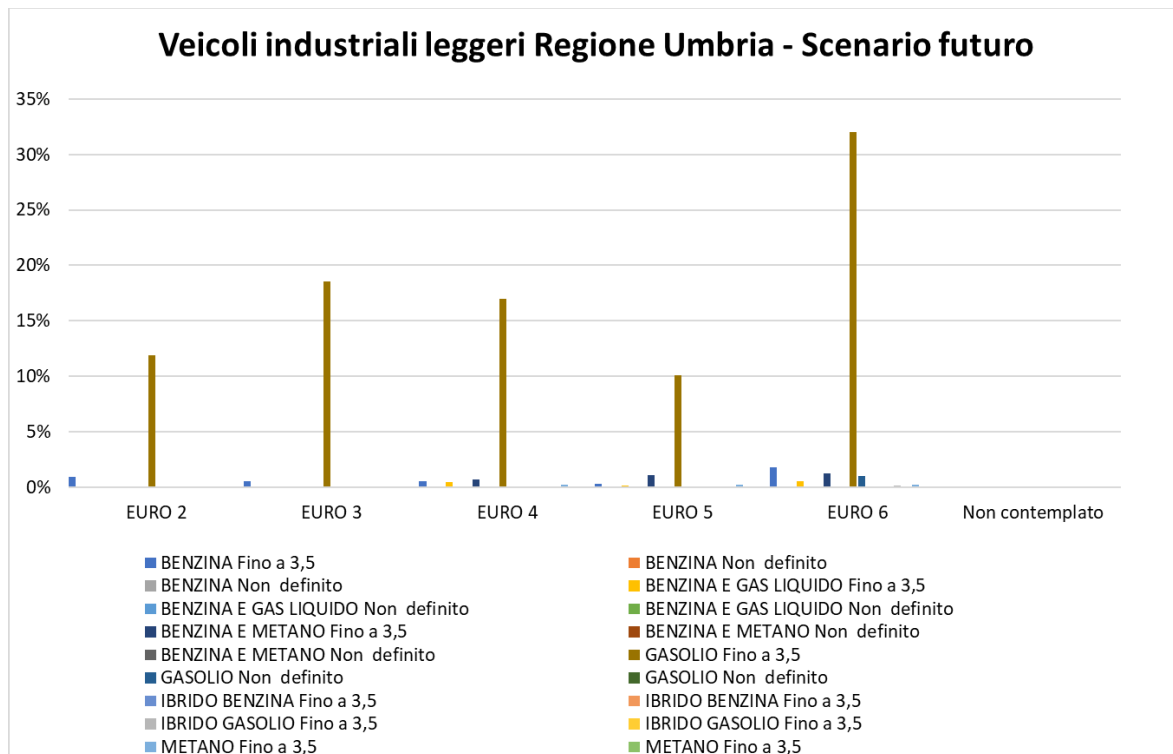


Figura 8-6 Suddivisione percentuale Veicoli industriali leggeri prevista al 2036, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

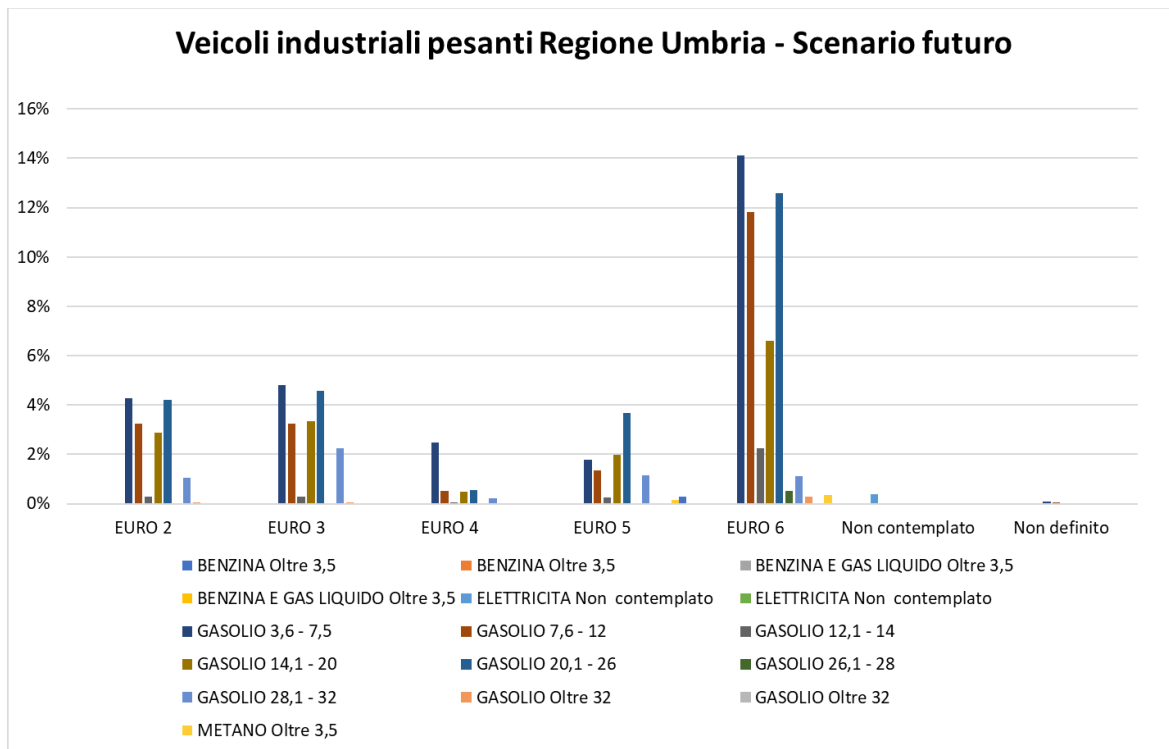


Figura 8-7 Suddivisione percentuale Veicoli industriali pesanti prevista al 2036, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

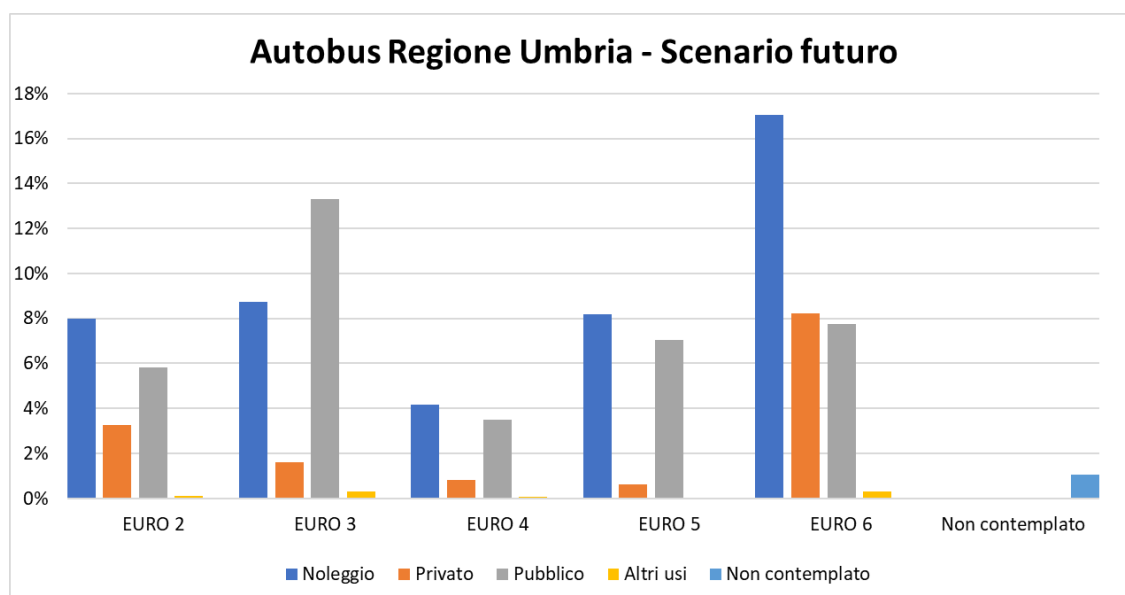


Figura 8-8 Suddivisione percentuale Autobus prevista al 2036, Regione Umbria (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

8.2.2.2 VOLUMI E VELOCITÀ DEL TRAFFICO CIRCOLANTE

Tra gli input fondamentali del modello si sottolineano i flussi veicolari circolanti sul tratto di interesse con le relative velocità medie di esercizio associate. Di seguito si riportano i valori di traffico orario e di velocità media relativi al tratto stradale di interesse e ad ogni scenario di riferimento.

In particolare, con riferimento allo Studio Trasportistico, è stato assunto per lo scenario attuale il seguente traffico orario, relativo al 2022, e le seguenti velocità medie associate al tratto attuale.

Veicoli leggeri/h	Veicoli pesanti/h	Velocità veicoli leggeri (km/h)	Velocità veicoli pesanti (km/h)
127	8	60	50

Tabella 8-9 Dati di traffico e velocità medie per lo scenario attuale

Nella seguente figura è rappresentato il tracciato stradale attuale considerato nelle simulazioni modellistiche per lo scenario attuale.

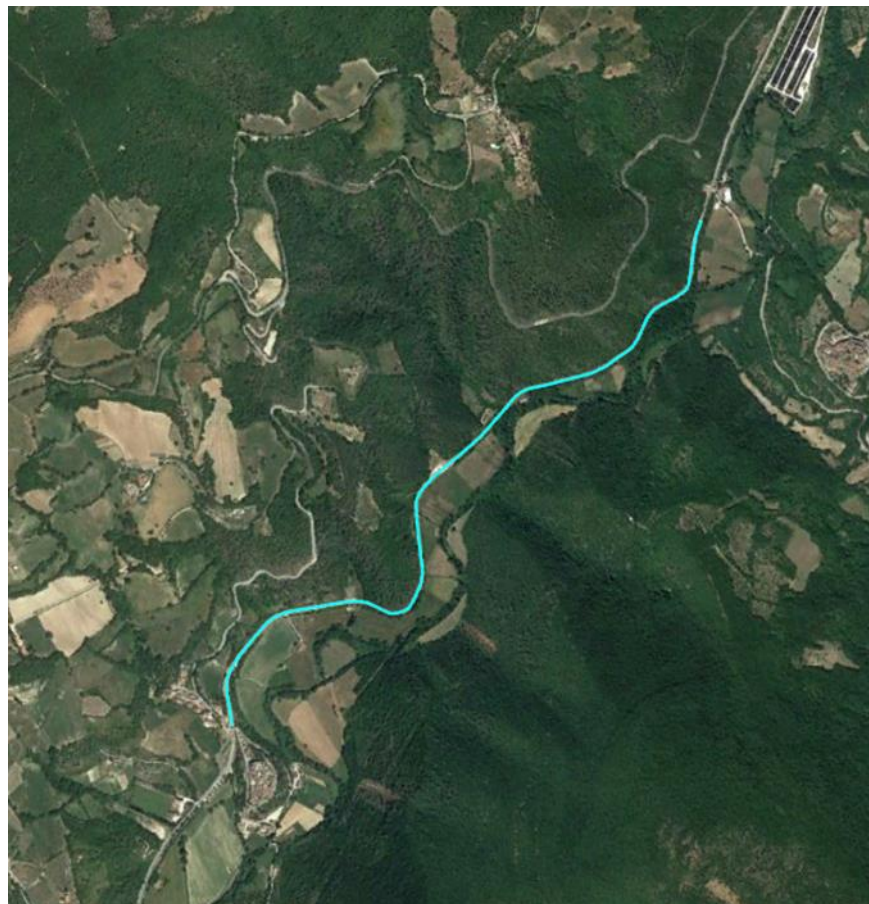


Figura 8-9 Tracciato attuale

Nella seguente tabella è invece riportato il traffico orario ipotizzato per lo scenario di progetto al 2036 nello Studio Trasportistico e le velocità medie associate al tratto di progetto.

Veicoli leggeri/h	Veicoli pesanti/h	Velocità veicoli leggeri (km/h)	Velocità veicoli pesanti (km/h)
204	13	70	60

Tabella 8-10 Dati di traffico e velocità medie per lo scenario di progetto

Nella seguente figura è rappresentato il tratto stradale di progetto considerato nelle simulazioni modellistiche per lo scenario di progetto.

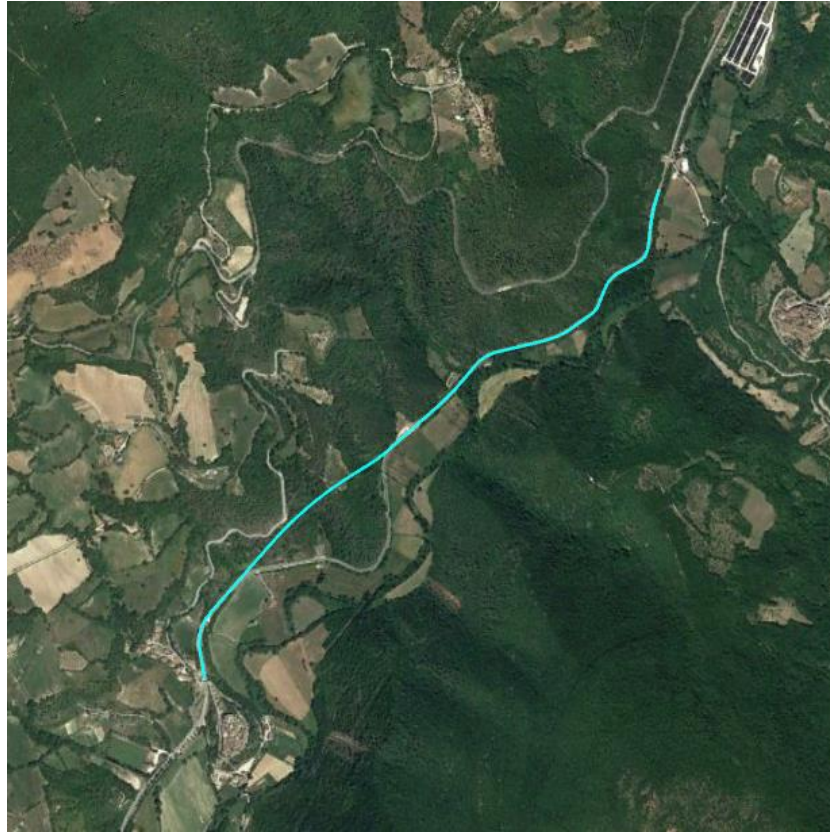


Figura 8-10 Tracciato di progetto

8.2.2.3 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 NO_x, CO, PM₁₀ e PM_{2,5} 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)
NO_x	0,443	5,102
CO	0,611	1,246
PM₁₀	0,013	0,152
PM_{2,5}	0,008	0,091

Tabella 8-11 Fattore di emissione NO_x, CO, PM₁₀, e PM_{2,5} di veicoli leggeri e pesanti - Scenario attuale

Relativamente ai fattori di emissione del Benzene, questi sono stati ricavati applicando dei coefficienti relativi alla frazione percentuale in massa del Benzene alle emissioni dei VOC totali, ricavate direttamente da Copert 5. I valori della "Mass Fraction" sono suddivisi in funzione della tipologia di veicoli e del carburante, come riportato nella figura sottostante.

Group	Species	NMVOC Fraction (% wt.)				
		Petrol 4 stroke		Diesel PC & LCV	HDV	LPG
		Convent.	Euro I & on	IDI & DI		
ALDEHYDES	formaldehyde	2.08	1.70	12.00	8.40	1.56
	acetaldehyde	0.59	0.75	6.47	4.57	1.81
	acrolein	0.16	0.19	3.58	1.77	0.59
	benzaldehyde	0.60	0.22	0.86	1.37	0.03
	crotonaldehyde	0.02	0.04	1.10	1.48	0.36
	methacrolein		0.05	0.77	0.86	0.10
	butyraldehyde		0.05	0.85	0.88	0.11
	isobutanaldehyde			2.09	0.59	
	propionaldehyde	0.11	0.05	1.77	1.25	0.70
	hexanal			0.16	1.42	
	i-valeraldehyde			0.11	0.09	0.01
	valeraldehyde		0.01	0.41	0.40	
	o-tolualdehyde	0.19	0.07	0.24	0.80	
	m-tolualdehyde	0.38	0.13	0.34	0.59	
	p-tolualdehyde	0.19	0.06	0.35		
KETONES	acetone	0.21	0.61	2.94		0.78
	methylethylketone	0.11	0.05	1.20		
AROMATICS	toluene	12.84	10.98	0.69	0.01	1.22
	ethylbenzene	4.78	1.89	0.29		0.24
	m,p-xylene	6.66	5.43	0.61	0.98	0.75
	o-xylene	4.52	2.26	0.27	0.40	0.26
	1,2,3 trimethylbenzene	0.59	0.86	0.25	0.30	0.05
	1,2,4 trimethylbenzene	2.53	4.21	0.57	0.86	0.25
	1,3,5 trimethylbenzene	1.11	1.42	0.31	0.45	0.08
	styrene	0.57	1.01	0.37	0.56	0.02
	benzene	6.83	5.61	1.98	0.07	0.63
	C9	3.12	4.21	0.78	1.17	0.25
	C10		3.07			
	C>13	6.01	3.46	13.37	20.37	
TOTALS (all NMVOC species)		99.98	99.65	99.42	96.71	99.98

Figura 8-11 NMVOC Fraction (% wt.) Fonte: Table 3.100b: Composition of NMVOC in exhaust emissions (aldehydes, ketones, aromatics) - 1.A.3.b.i, 1.A.3.b.ii, 1.A.3.b.iii, 1.A.3.b.iv Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles - EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - -- Last Update Oct. 2020

Alla luce di ciò, di seguito si riportano i fattori di emissione del Benzene calcolati e distinti in funzione delle velocità e della tipologia di veicoli (leggeri e pesanti).

Inquinante	Fattore di emissione leggeri (g/km*veicolo)	Fattore di emissione pesanti (g/km*veicolo)
C₆H₆	0,534	0,755

Tabella 8-12 Fattore di emissione Benzene veicoli leggeri e pesanti - Scenario attuale

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
C₆H₆	0,039	0,185

Tabella 8-13 Fattori di emissione veicoli leggeri e pesanti - Scenario di progetto

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 Calroads, 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.

8.2.2.4 DEFINIZIONE DEI PUNTI DI CALCOLO

Individuazione dei ricettori puntuali

I punti ricettori, in prossimità dei quali sono state stimate le concentrazioni degli inquinanti, sono stati scelti in funzione di quelli più vicini dell'asse stesso, al fine di poter stimare la modificazione della qualità dell'aria nelle vicinanze dell'opera di progetto.

Nel complesso sono stati individuati 2 ricettori residenziali e 2 ricettori vegetazionali, localizzati all'interno della Zona Speciale di Conservazione "Valnerina", mostrati in figura e tabella seguenti.



Figura 8-12 Localizzazione ricettori (in rosso il tratto della galleria di progetto)

Ricettore	Coordinate	
	X (m)	Y (m)
R1	323214	4734773
R2	323472	4734947
V1	323587	4734991
V2	324119	4735643

Tabella 8-14 Coordinate ricettori considerati

Definizione della maglia di calcolo

In aggiunta ai ricettori puntuali è stata definita una maglia di calcolo comprendente la rete stradale di riferimento, grazie alla quale il modello di simulazione, calcolando le concentrazioni sui punti della maglia, riesce a generare delle curve di isoconcentrazione da poter rappresentare in forma grafica. In particolare, la maglia individuata per questa analisi di dettaglio è caratterizzata da un "buffer" intorno ai rami della rete stradale, caratterizzato da punti di calcolo posti ad una distanza di 25, 75 e 150 metri dalla strada con distanza reciproca di 25, 75 e 150 metri.

8.2.3 I risultati dell'analisi allo stato attuale

8.2.3.1 ASPETTI GENERALI

Nel presente paragrafo si riportano i principali risultati ottenuti dal modello di simulazione per lo scenario attuale. In particolare, per quanto riguarda le concentrazioni medie annue degli inquinanti di interesse stimate sull'intera maglia di calcolo è possibile far riferimento agli elaborati grafici allegati:

- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni NO_x - Ante Operam – Post Operam";
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni CO - Ante Operam – Post Operam";
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni Benzene - Ante Operam – Post Operam";
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni PM₁₀ - Ante Operam – Post Operam";
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni PM_{2,5} - Ante Operam – Post Operam"

Analizzando nello specifico le concentrazioni dei singoli inquinanti, di seguito si riportano quelle calcolate per lo scenario attuale in prossimità dei ricettori individuati. Gli inquinanti considerati sono stati relazionati a diversi intervalli di mediazione temporale in virtù dei diversi limiti imposti dalla normativa vigente. Nello specifico si considera la media annua per tutti gli inquinanti tranne per la CO per la quale vengono analizzati i valori massimi medi su 8 ore consecutive. In aggiunta alla media annua, sono stati analizzati i valori orari per l'NO₂ e i valori giornalieri per il PM₁₀.

8.2.3.2 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI NO_x SUI RICETTORI

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua dell'NO_x emersi dalle simulazioni dello scenario attuale in prossimità dei punti ricettori vegetazionali considerati.

SCENARIO ATTUALE				
Ricettori	Concentrazione media annua di NO _x stimata [µg/m ³]	Concentrazione media annua di NO _x registrato dalla centralina [µg/m ³]	Concentrazione media annua di NO _x totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
V1	0,511	15	15,511	30
V2	1,482		16,482	

Tabella 8-15 Valori di concentrazione media annua di NO_x– Scenario attuale

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza del ricettore V2, pari a 1,482 µg/m³; quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 30 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

8.2.3.3 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI NO₂ SUI RICETTORI

Per quanto riguarda le analisi condotte sull'inquinante NO₂, sono stati analizzati i valori di concentrazione risultanti dalle simulazioni allo scenario attuale presso i punti ricettori residenziali considerati.

Si sottolinea come i valori di concentrazione dell'NO₂ siano stati ottenuti dall'applicazione della formulazione che lega l'NO_x all'NO₂, individuata sulla base dei monitoraggi condotti da ARPA Umbria in prossimità della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo (cfr. Par 6.2.1).

Nella seguente tabella si riporta l'analisi dei percentili, nonché i valori orari minimi e massimi delle concentrazioni orarie dell'NO₂.

SCENARIO ATTUALE – VALORI ORARI NO₂

Ricettore	Min [µg/m ³]	Percentili [µg/m ³]					Max [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
		50°	85°	90°	95°	99,8°		
R1	≈0	0,047	0,809	1,510	1,989	3,643	3,731	200
R2	≈0	0,167	0,397	0,575	0,769	1,610	1,672	

Tabella 8-16 Percentili e valori massimi e minimi orari NO₂ – Scenario attuale

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a 3,731 µg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 200 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento, pari a 10 µg/m³.

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua dell'NO₂ emersi dalle simulazioni dello scenario attuale in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

SCENARIO ATTUALE – MEDIE ANNUE NO₂

Ricettori	Concentrazione media annua di NO ₂ stimata [µg/m ³]	Concentrazione media annua di NO ₂ registrato dalla centralina [µg/m ³]	Concentrazione media annua di NO ₂ totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
R1	0,478	10	10,478	40
R2	0,226		10,226	40

Tabella 8-17 Valori di concentrazione media annua di NO₂ – Scenario attuale

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a 0,478 µg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 40 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

8.2.3.4 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI CO SUI RICETTORI

Di seguito si riportano i valori di concentrazione massima media di 8 ore consecutive di CO emersi dalle simulazioni dello scenario attuale in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

Ricettori	SCENARIO ATTUALE –MASSIMA MEDIA SU 8 ORE CONSECUTIVE DI CO			
	Concentrazione massima media su 8 ore consecutive di CO stimata [mg/m ³]	Concentrazione media annua di CO registrato dalla centralina [mg/m ³]	Concentrazione massima media di CO totale [mg/m ³]	Limite normativo [mg/m ³]
R1	0,0029	0,7	0,7029	10
R2	0,0013		0,7013	

Tabella 8-18 Valori di concentrazione massima media di 8 ore di CO – Scenario attuale

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a 0,0029 mg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 10 mg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Piazza Vittoria.

8.2.3.5 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI C₆H₆ SUI RICETTORI

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua del benzene emersi dalle simulazioni dello scenario attuale in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

SCENARIO ATTUALE – MEDIA ANNUA C ₆ H ₆				
Ricettori	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ stimata [µg/m ³]	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ registrato dalla centralina [µg/m ³]	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
R1	0,418	1,2	1,618	5
R2	0,198		1,398	

Tabella 8-19 Valori di concentrazione media annua di C₆H₆ – Scenario attuale

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a 0,418 µg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 5 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Piazza Vittoria.

8.2.3.6 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI PM10 SUI RICETTORI

L'analisi svolta sul PM10 ha visto la stima sia delle concentrazioni giornaliere che delle concentrazioni medie annue. In primo luogo, partendo dai valori giornalieri di PM10 risultanti dalla simulazione dello scenario attuale, sono stati calcolati i percentili nonché i valori massimi e minimi.

SCENARIO ATTUALE – VALORI GIORNALIERI PM10

Ricettore	Min [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentili [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					Max [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
		50°	85°	90,4°	95°	99°		
R1	≈ 0	0,014	0,025	0,030	0,038	0,051	0,057	50
R2	≈ 0	0,007	0,011	0,012	0,014	0,019	0,023	

Tabella 8-20 Percentili e valori massimi e minimi giornalieri PM10– Scenario attuale

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a $0,057 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Inoltre, tutti i valori massimi di PM10 giornalieri risultanti in corrispondenza di entrambi i ricettori, sommati al valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo, pari a $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, non generano superamenti rispetto al limite normativo giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua di PM10 emersi dalle simulazioni dello scenario attuale in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

SCENARIO ATTUALE – MEDIE ANNUE PM10

Ricettori	Concentrazione media annua di PM10 stimata [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di PM10 registrato dalla centralina [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di PM10 totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
R1	0,016	19	19,016	40
R2	0,008		19,008	

Tabella 8-21 Valori di concentrazione media annua di PM10 – Scenario attuale

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a $0,016 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

8.2.3.7 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI PM_{2,5} SUI RICETTORI

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua di PM_{2,5} emersi dalle simulazioni dello scenario attuale in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

SCENARIO ATTUALE – MEDIE ANNUE PM_{2,5}

Ricettori	Concentrazione media annua di PM _{2,5} stimata [µg/m ³]	Concentrazione media annua di PM _{2,5} registrato dalla centralina [µg/m ³]	Concentrazione media annua di PM _{2,5} totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
R1	0,010	13	13,010	25
R2	0,005		13,005	

Tabella 8-22 Valori di concentrazione media annua di PM_{2,5} – Scenario attuale

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a 0,01 µg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 25 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

8.2.4 I RISULTATI DELL'ANALISI ALLO STATO DI PROGETTO

8.2.4.1 ASPETTI GENERALI

Nel presente paragrafo si riportano i principali risultati ottenuti dal modello di simulazione per lo scenario di progetto. In particolare, per quanto riguarda le concentrazioni degli inquinanti di interesse stimate sull'intera maglia di calcolo è possibile far riferimento agli elaborati grafici allegati elencati precedentemente nel paragrafo 8.2.3.1.

Analogamente a quanto fatto per lo scenario attuale, analizzando nello specifico le concentrazioni dei singoli inquinanti, di seguito si riportano quelle calcolate per lo scenario di progetto in prossimità dei ricettori individuati.

8.2.4.2 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI NO_x SUI RICETTORI

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua dell'NO_x emersi dalle simulazioni dello scenario di progetto in prossimità dei punti ricettori vegetazionali considerati.

SCENARIO DI PROGETTO				
Ricettori	Concentrazione media annua di NO _x stimata [µg/m ³]	Concentrazione media annua di NO _x registrato dalla centralina [µg/m ³]	Concentrazione media annua di NO _x totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
V1	0,108	15	15,108	30
V2	1,653		16,653	

Tabella 8-23 Valori di concentrazione media annua di NO_x – Scenario di progetto

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza del ricettore V2, pari a 1,653 µg/m³, risulta essere inferiore al limite normativo di 30 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

8.2.4.3 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI NO₂ SUI RICETTORI

Per quanto riguarda le analisi condotte sull'inquinante NO₂, sono stati analizzati i valori di concentrazione risultanti dalle simulazioni allo scenario di progetto presso i punti ricettori residenziali considerati.

Si ricorda come i valori di concentrazione dell'NO₂ siano stati ottenuti dall'applicazione della formulazione che lega l'NO_x all'NO₂, individuata sulla base dei monitoraggi condotti da ARPA Umbria in prossimità della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo (cfr. Par 6.2.1).

Di seguito si riporta l'analisi dei percentili, nonché i valori orari minimi e massimi delle concentrazioni orarie dell'NO₂.

SCENARIO DI PROGETTO– VALORI ORARI NO ₂								
Ricettore	Min [µg/m ³]	Percentili [µg/m ³]					Max [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
		50°	85°	90°	95°	99,8°		
R1	≈0	0,046	0,746	1,366	1,751	3,267	3,347	200
R2	≈0	0,016	0,123	0,252	0,390	0,733	0,753	

Tabella 8-24 Percentili e valori massimi e minimi orari NO₂ – Scenario di progetto

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a $3,347 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento, pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua dell' NO_2 emersi dalle simulazioni dello scenario di progetto in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

SCENARIO DI PROGETTO– MEDIE ANNUE NO_2

Ricettori	Concentrazione media annua di NO_2 stimata [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di NO_2 registrato dalla centralina [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di NO_2 totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
R1	0,429	10	10,429	40
R2	0,079		10,079	40

Tabella 8-25 Valori di concentrazione media annua di NO_2 – Scenario di progetto

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a $0,429 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

8.2.4.4 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI CO SUI RICETTORI

Di seguito si riportano i valori di concentrazione massima media di 8 ore consecutive di CO emersi dalle simulazioni dello scenario di progetto in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

SCENARIO DI PROGETTO–MASSIMA MEDIA SU 8 ORE CONSECUTIVE DI CO

Ricettori	Concentrazione massima media su 8 ore consecutive di CO stimata [mg/m^3]	Concentrazione media annua di CO registrato dalla centralina [mg/m^3]	Concentrazione massima media di CO totale [mg/m^3]	Limite normativo [mg/m^3]
R1	0,0015	0,7	0,7015	10
R2	0,0004		0,7004	

Tabella 8-26 Valori di concentrazione massima media di 8 ore di CO – Scenario di progetto

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a $0,0014 \text{mg}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di $10 \text{mg}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

8.2.4.5 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI C₆H₆ SUI RICETTORI

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua del benzene emersi dalle simulazioni dello scenario di progetto in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

SCENARIO DI PROGETTO– MEDIA ANNUA C₆H₆

Ricettori	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ stimata [µg/m ³]	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ registrato dalla centralina [µg/m ³]	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
R1	0,057	1,2	1,257	5
R2	0,033		1,233	

Tabella 8-27 Valori di concentrazione media annua di C₆H₆ – Scenario di progetto

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a 0,057 µg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 5 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

8.2.4.6 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI PM₁₀ SUI RICETTORI

L'analisi svolta sul PM₁₀ ha visto la stima sia delle concentrazioni giornaliere che delle concentrazioni medie annue. In primo luogo, partendo dai valori giornalieri di PM₁₀ risultanti dalla simulazione dello scenario di progetto, sono stati calcolati i percentili nonché i valori massimi e minimi.

SCENARIO DI PROGETTO– VALORI GIORNALIERI PM₁₀

Ricettore	Min [µg/m ³]	Percentili [µg/m ³]					Max [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
		50°	85°	90,4°	95°	99°		
R1	≈0	0,010	0,018	0,021	0,026	0,036	0,038	50
R2	≈0	0,002	0,004	0,004	0,006	0,007	0,009	

Tabella 8-28 Percentili e valori massimi e minimi giornalieri PM₁₀ – Scenario di progetto

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a 0,038 µg/m³. Inoltre, tutti i valori massimi di PM₁₀ giornalieri risultanti in corrispondenza di entrambi i ricettori, sommati al valore di fondo della centralina di riferimento, pari a 19 µg/m³, non generano superamenti rispetto al limite

normativo giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua di PM10 emersi dalle simulazioni dello scenario di progetto in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

SCENARIO DI PROGETTO– MEDIE ANNUE PM10

Ricettori	Concentrazione media annua di PM10 stimata [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di PM10 registrato dalla centralina [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di PM10 totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	% sul limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
R1	0,011	19	19,011	40
R2	0,002		19,002	

Tabella 8-29 Valori di concentrazione media annua di PM10 – Scenario di progetto

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a $0,011 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

8.2.4.7 L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI PM2,5 SUI RICETTORI

Di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua di PM2,5 emersi dalle simulazioni dello scenario di progetto in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

SCENARIO DI PROGETTO– MEDIE ANNUE PM2,5

Ricettori	Concentrazione media annua di PM2,5 stimata [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di PM2,5 registrato dalla centralina [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di PM2,5 totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
R1	0,007	13	13,007	25
R2	0,001		13,001	

Tabella 8-30 Valori di concentrazione media annua di PM2,5 – Scenario attuale

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R1 ed è pari a $0,007 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

9 LE INTERFERENZE IN FASE DI CANTIERE

9.1 Aspetti generali

Al fine di stimare le interferenze tra le attività di cantiere e la componente atmosfera e verificare i limiti normativi per la protezione della salute umana e della vegetazione, sono state condotte delle simulazioni modellistiche.

In particolare, come effettuato nel prosieguo della trattazione, sono state in primo luogo individuate le sorgenti emmissive, rappresentate nello specifico da sorgenti areali in cui è prevista la movimentazione del materiale polverulento e l'emissione dei gas di scarico da parte dei mezzi di cantiere, e da sorgenti lineari sulle quali è prevista la circolazione del traffico di cantiere.

Si anticipa che le sorgenti considerate nelle simulazioni modellistiche per la stima delle concentrazioni degli inquinanti, sono state individuate in modo da rappresentare la situazione maggiormente critica data dalla sovrapposizione di più attività di cantiere.

Al fine di stimare le concentrazioni di inquinanti (PM10, PM2,5, NOx e NO₂) prodotte dalle attività di cantiere è stato utilizzato il software di simulazione Aermod View.

Nei paragrafi successivi si riportano i dettagli relativi alle simulazioni condotte.

9.2 Gli input del modello di calcolo

9.2.1 Input territoriali

9.2.1.1 I DATI METEOROLOGICI

Uno degli input fondamentali per l'analisi delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera è il dato meteo. Per ricreare lo scenario diffusivo caratteristico del sito simulato, quindi, è stato necessario costruire adeguati file meteorologici in formati compatibili con il preprocessore meteorologico utilizzato dal modello di simulazione utilizzato, Aermod, denominato Aermet.

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

Nel caso specifico sono stati utilizzati gli stessi dati delle simulazioni in fase di esercizio (par. 8.2.1), per la costruzione del primo file suddetto, mentre i dati profilometrici sono stati calcolati attraverso l'applicazione del "Upper Air Estimator" sviluppato dalla Lakes Environmental e citato quale metodo applicabile dalla stessa FAA. Per descrivere la condizione meteoroclimatica al suolo, il software Aermet richiede di inserire un file, con estensione ".dat", contenente le informazioni caratterizzanti i giorni di cui si voglia studiare la dispersione.

Il formato con cui deve essere scritto tale file deve essere uno dei seguenti:

- TD 3280 Variable-Length Blocks,
- TD 3280 Fixed-Length Blocks,
- TD 3505-ISHD,
- CD-144,
- HUSWO,
- SCRAM,
- SAMSON.

I dati grezzi descritti e commentati precedentemente sono quindi stati riorganizzati nel formato "SCRAM", che caratterizza le condizioni superficiali con intervalli di 60 minuti.

1234521010100002360020350000
1234521010101001360020330000
1234521010102003360010320202

Tabella 9-1 Esempio di alcune righe di un file scritto in formato "SCRAM"

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

- 1-5: indicano il codice della postazione meteorologica che ha registrato i dati; nell'esempio mostrato è stata denominata "12345";
- 6-7: indicano l'anno che si sta considerando; l'esempio riguarda l'anno 2021 che viene indicato con le ultime due cifre "21";
- 8-9: viene specificato il mese, nell'esempio siamo a gennaio: "01";
- 10-11: anche il giorno viene indicato con due cifre, nell'esempio siamo al primo giorno di gennaio: "01";
- 12-13: si specifica l'ora, lasciando vuota la prima casella nel caso di numeri ad una sola cifra;
- 14-16: viene indicata l'altezza a cui si trovano le nuvole, espressa in centinaia di piedi;
- 17-18: indicano la direzione del vento, espressa come decine di gradi (esempio $130^\circ = 13$);
- 19-21: si indica la velocità del vento, espressa in nodi ($001 \text{ Knot} = 1853 \text{ m/h}$);
- 22-24: la temperatura espressa in questa tre caselle è indicata in gradi Fahrenheit (si ricorda la relazione: $T^\circ\text{f} = 9/5 (T^\circ\text{c} + 32)$);
- 25-28: si indica la quantità di nuvole: le prime due cifre, in una scala che va da zero a dieci, indicano la percentuale di nuvole presenti su tutta la zona, mentre le seconde due cifre, con la medesima scala, indicano la foschia presente sopra il sedime.

Il file così costruito è poi trattato mediante il preprocessore meteorologico Aermet, che analizza i dati e li riordina in modo da poter essere utilizzati dal software di simulazione.

Per inserire il file caratterizzante la situazione in quota, come definito in precedenza, si è scelto di utilizzare l'upper air estimator fornito dalla Lakes Environmental. Tale strumento consente di fornire, attraverso leggi di

regressione, il profilo meteorologico in quota. Tale sistema è riconosciuto dalla FAA¹⁰ ed alcune analisi sperimentali hanno dimostrato una buona approssimazione tra le concentrazioni stimate a partire dai dati in quota rispetto a quelle stimate attraverso l'uso dell'Upper Air Estimator¹¹.

9.2.1.2 I DATI OROGRAFICI

Il secondo gruppo di parametri territoriali da definire è legato all'orografia del territorio in cui l'opera si innesta. Il software Aermod View, grazie al processore territoriale AERMAP, permette di configurare essenzialmente tre tipologie di territorio così come mostrato in Figura 9-1.

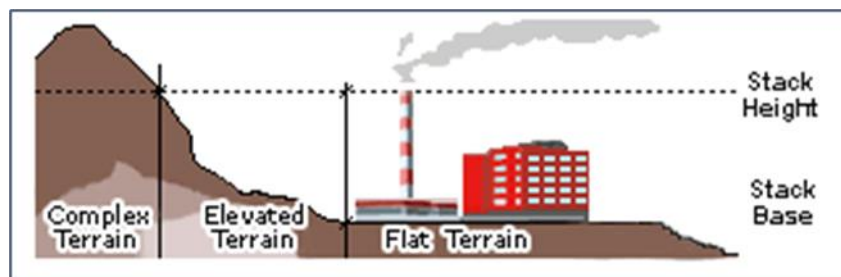


Figura 9-1 Tipologie di configurazioni territoriali

Con riferimento all'area in esame interessata dall'opera in progetto, si è adottata una conformazione del territorio di tipo "elevated" al fine di rendere la modellazione il più possibile fedele alla realtà.

¹⁰ http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/

¹¹ Worldwide Data Quality Effects on PBL Short-Range Regulatory Air Dispersion Models – Jesse L. Thé, Russell Lee, Roger W. Brode

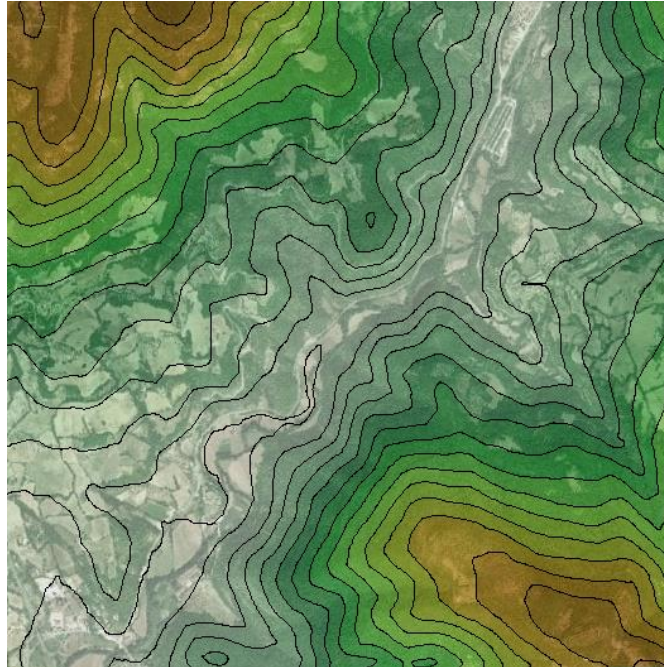


Figura 9-2 Esempio di territorio di tipo "elevated" sul software Aermot

9.2.2 Input progettuali

9.2.2.1 LA METODOLOGIA DEL WORST CASE SCENARIO

La metodologia che è stata seguita per la definizione degli input di progetto e quindi delle sorgenti emissive 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, che nel caso in esame sono le variabili che influenzano il modello di simulazione.

Una volta valutati gli scenari è possibile fare riferimento ad uno o più scenari, ritenuti maggiormente critici, nell'arco di una giornata.

A titolo esemplificativo, al fine di comprendere la logica del processo di simulazione si può fare riferimento allo schema di processo sottostante.

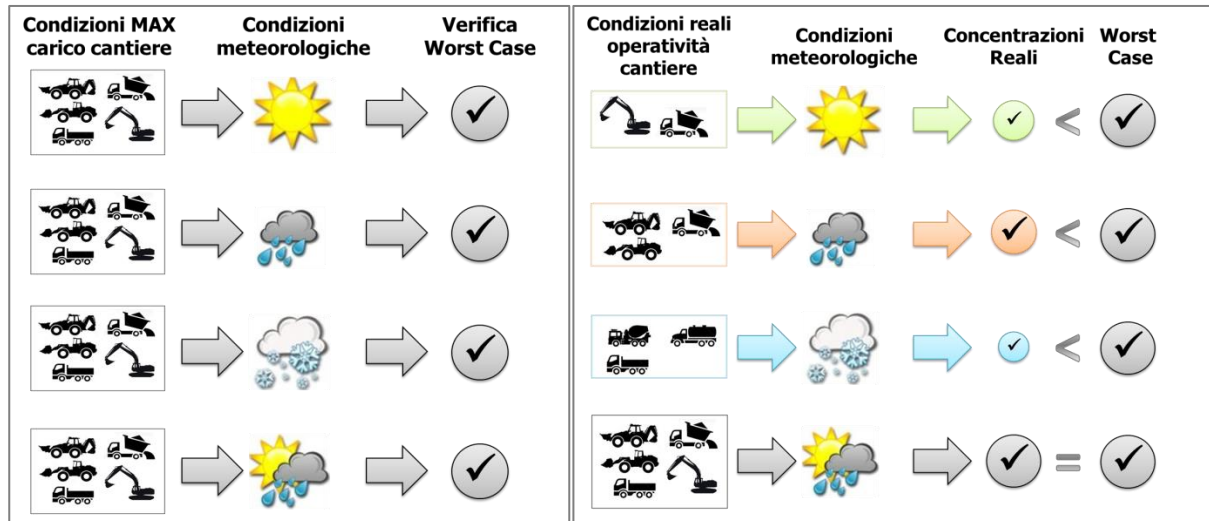


Figura 9-3 Logica delle verifiche con il worst case scenario

Volendo esplicitare la logica della Figura 9-3, dal punto di vista metodologico, occorre simulare lo scenario più critico dal punto di vista atmosferico. È infatti possibile definire le attività maggiormente critiche all'interno di un singolo cantiere, analizzandone le emissioni, ed assumere che tale attività si svolga per tutta la durata del cantiere. Tale ipotesi risulta molto conservativa, permettendo di avere elevati margini di sicurezza rispetto anche ai possibili scarti temporali e variazioni meteorologiche che negli scenari futuri sono difficilmente valutabili.

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.

In ultimo, al fine di realizzare gli scenari di analisi occorre definire la tipologia di inquinante considerato. Tale aspetto influenza l'arco temporale di riferimento (ovvero l'intervallo di mediazione di riferimento) con il quale effettuare le verifiche normative e, al tempo stesso, l'operatività del cantiere che deve essere considerata all'interno della metodologia *Worst Case* implementata. Come meglio verrà esplicitato in seguito, gli inquinanti da tenere in considerazione sono funzione delle attività effettuate all'interno del cantiere.

Verificando, quindi, il rispetto di tutti i limiti normativi per il *Worst Case Scenario*, è possibile assumere in maniera analoga il rispetto dei limiti normativi per tutti gli scenari differenti dal peggiore, scenari nei quali, il margine di sicurezza sarà ancora maggiore.

9.2.2.2 LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI SIMULAZIONE

Con riferimento alle attività di cantiere previste per il progetto in esame, il presente paragrafo è volto all'individuazione degli scenari più critici in termini di movimentazione di terra, di gas di scarico dei mezzi di cantiere e vicinanza con i ricettori. Infatti, le lavorazioni che maggiormente concorrono all'emissione di polveri in atmosfera sono rappresentate dalle attività di movimentazione della terra e le emissioni di gas di scarico da parte dei mezzi di cantiere. In particolare, nel caso in esame, si fa riferimento alle lavorazioni che interessano la realizzazione della galleria e del tratto stradale e alle attività di carico e scarico del materiale.

Dalla visione del cronoprogramma è stato, in primo luogo, possibile selezionare quelle attività ritenute più critiche in termini di quantitativi di materiale movimentato, di tempistiche di realizzazione e vicinanza di più lavorazioni contemporanee che potrebbero generare la sovrapposizione degli effetti di dispersione delle concentrazioni di inquinanti.

Pertanto, in considerazione di tali tematiche sono stati individuati due scenari di riferimento per le analisi modellistiche della fase di cantiere.

Tra le macro-attività elencate nel cronoprogramma emerge come quella maggiormente critica per la componente atmosfera sia la realizzazione della galleria. Inoltre, considerando che le attività di realizzazione del corpo stradale sono distribuite lungo l'intero nuovo asse stradale previsto, è stato scelto un tratto per la realizzazione del tratto stradale situato nelle vicinanze della Zona Speciale di Conservazione "Valnerina".

Con la finalità di considerare gli scenari rappresentativi delle condizioni peggiori in termini di inquinamento atmosferico e stimare gli effetti di questo sull'uomo e sulla vegetazione, sono stati scelti i seguenti scenari di riferimento in cui si prevedono le attività più critiche in termini di inquinamento atmosferico:

- Scenario A, che comprende l'area del cantiere base (CB.01) e l'area di lavorazione (AL.01) per la realizzazione dell'imbocco della galleria;
- Scenario B, che comprende l'area di cantiere relativa al cantiere mobile (AL.02) per la realizzazione del nuovo tratto stradale, situata in prossimità della Zona Speciale di Conservazione "Valnerina".

Considerando il cronoprogramma sono stati stimati i giorni previsti per ogni lavorazione in cui è necessaria la movimentazione delle terre e, considerando i metri cubi di terreno previsti per lo scavo della galleria e la realizzazione del tratto stradale, sono stati ipotizzati i metri cubi giornalieri di terreno movimentato. Tali valori sono stati utilizzati per il calcolo dei mezzi di cantiere e dei fattori di emissione (cfr. par 9.2.2.3).

Di seguito si riporta la descrizione di dettaglio delle aree di cantiere rappresentative delle sorgenti areali emissive per ogni scenario di riferimento.

Scenario A

Per quanto riguarda lo scenario A, state considerate 2 sorgenti emissive areali:

- l'area del cantiere base (CB.01), di superficie pari a circa 6800 m², in cui è stato ipotizzato l'utilizzo di un escavatore e una pala gommata;
- l'area di cantiere relativa allo scavo della galleria (AL.01), di superficie pari a circa 600 m², in cui è stato ipotizzato l'utilizzo di un escavatore e un escavatore con martellone.

Le lavorazioni che maggiormente concorrono all'emissione di inquinanti in atmosfera sono rappresentate dalle attività di movimentazione della terra e dai gas di scarico emessi dai mezzi di cantiere.

Inoltre, sono state simulate due sorgenti emissive lineari relative alla strada asfaltata e non asfaltata per il transito dei mezzi di cantiere su cui sono stati ipotizzati 5 veicoli bidirezionali orari circolanti.

Nella figura seguente si riporta la rappresentazione delle sorgenti relative allo scenario A.

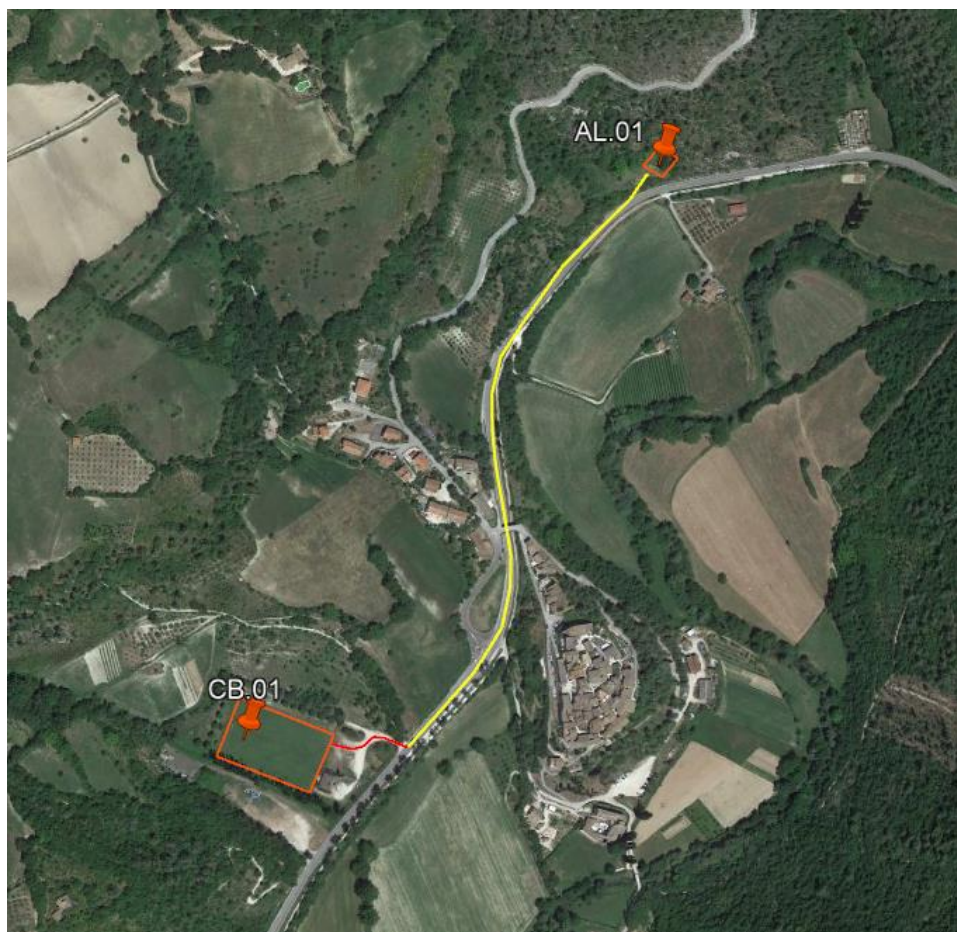


Figura 9-4 Sorgenti emissive - Scenario A (strada asfaltata ST.01 in giallo e strada non asfaltata ST.02 in rosso)

Di seguito si riportano le principali lavorazioni previste nelle sorgenti sopra rappresentate ed i relativi fattori di emissioni. In particolare, nella seguente tabella sono riportati i valori dei fattori di emissione che sono stati utilizzati per ogni sorgente emissiva considerata nello Scenario A.

Sorgenti emissive	Attività di cantiere	Fattori di emissione
CB.01	Formazione e stoccaggio cumuli	Rif. Par. 0
	Erosione del vento dai cumuli	Rif. Par.0
	Gas di scarico dei mezzi di cantiere	Rif. Par. 0
AL.01	Formazione e stoccaggio cumuli	Rif. Par. 0
	Erosione del vento dai cumuli	Rif. Par.0
	Gas di scarico dei mezzi di cantiere	Rif. Par. 0
ST.01	Traffico di cantiere	Rif. Par. 0
ST.02	Traffico di cantiere	Rif. Par. 0
	Transito mezzi di cantiere su strade non asfaltate	Rif. Par. 0

Tabella 9-2 Lavorazioni previste e relativi fattori di emissione – Scenario A

Definizione dei punti di calcolo

Prima dell'applicazione del modello è necessario definire una maglia di punti di calcolo al fine di poter pervenire alla definizione di curve di isoconcentrazione. A tale scopo occorre soddisfare la duplice necessità di avere una maglia di calcolo spazialmente idonea a poter descrivere una porzione di territorio sufficientemente ampia e dall'altro di fissarne un passo adeguato al fine di non incrementare inutilmente l'onerosità dei calcoli.

Seguendo tali principi, per lo Scenario A è stata definita una maglia di punti di calcolo le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Coordinate del centro della maglia Asse X	323296,24
Coordinate del centro della maglia Asse Y	4734563,17
Passo lungo l'asse X	30
Passo lungo l'asse Y	30
N° di punti lungo l'asse X	75
N° di punti lungo l'asse Y	75
N° di punti di calcolo totali	900

Tabella 9-3 Coordinate maglia dei punti di calcolo – Scenario A

Al fine di poter effettuare, la sovrapposizione degli effetti tra i valori di fondo di qualità dell'aria ed il contributo

del cantiere in esame, si è fatto riferimento a 3 ricettori residenziali rappresentativi degli edifici più vicini alle aree di cantiere simulate e 3 ricettori vegetazionali, secondo quanto riportato in tabella e figura seguenti.

Ricettore	Coordinata X (m)	Coordinata Y (m)	Destinazione d'uso
C1	323228	4734682	Edificio residenziale
C2	322909	4734389	Vegetazione
C3	323292	4734300	Vegetazione
C4	323274	4734406	Edificio residenziale
C5	323472	4734947	Edificio residenziale
C6	323587	4734991	Vegetazione

Tabella 9-4 Coordinate ricettori considerati - Scenario A

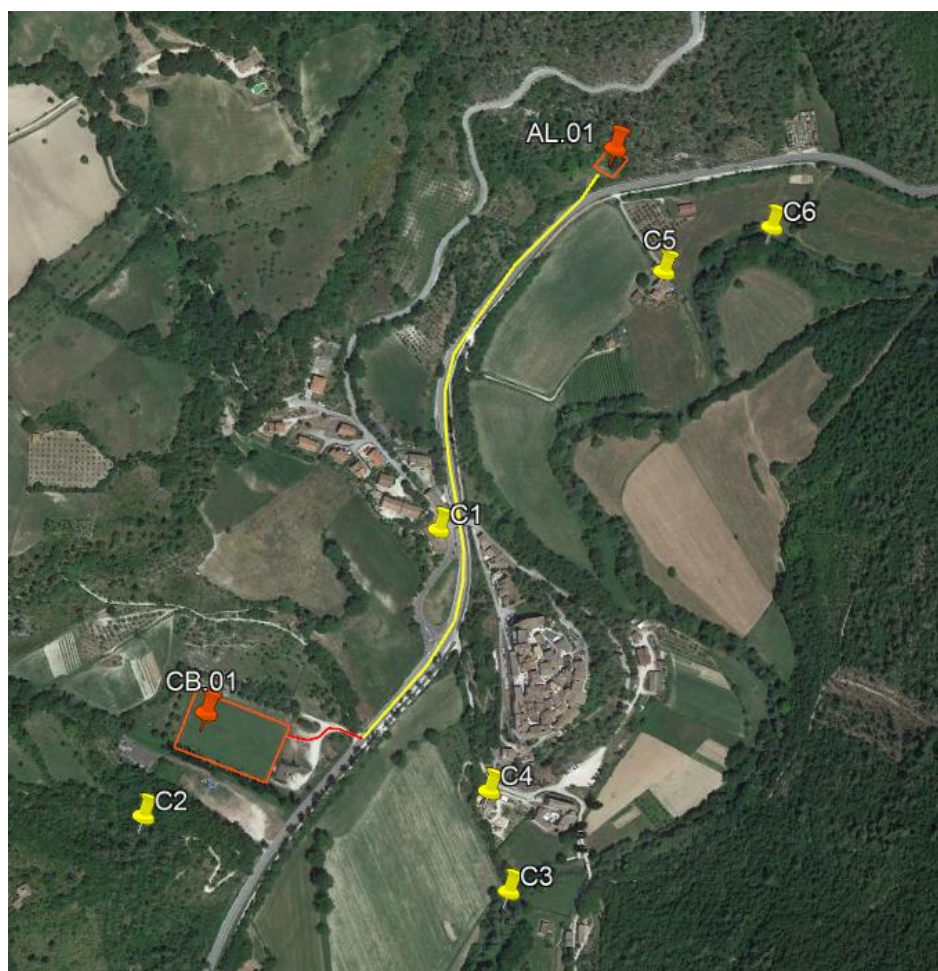


Figura 9-5 Localizzazione ricettori - Scenario A

Scenario B

Per quanto riguarda lo scenario B come sorgente emissiva areale è considerato il cantiere mobile (AL.02) per la realizzazione del nuovo tratto stradale, di superficie pari a circa 600 m², in cui è stato ipotizzato l'utilizzo di un escavatore e un autocarro.

Le lavorazioni che maggiormente concorrono all'emissione di inquinanti in atmosfera sono rappresentate dalle attività di movimentazione della terra e dai gas di scarico emessi dai mezzi di cantiere.

Nella figura seguente si riporta la rappresentazione della sorgente emissiva relativa allo scenario B.



Figura 9-6 Sorgente emissiva - Scenario B

Di seguito si riportano le principali lavorazioni previste nella sorgente sopra rappresentata ed i relativi fattori di emissioni. In particolare, nella seguente tabella sono riportati i valori dei fattori di emissione che sono stati utilizzati per la sorgente emissiva considerata nello Scenario B.

Si sottolinea che, poiché per lo Scenario B è stato considerato un ricettore vegetazionale (cfr. Tabella 9-7), in considerazione del limite annuo per la protezione della vegetazione relativo all'NO_x, sono stati considerati i

fattori di emissione relativi a tale inquinante.

Sorgenti emissive	Attività di cantiere	Fattori di emissione
AL.02	Gas di scarico dei mezzi di cantiere	Rif. Par. 0

Tabella 9-5 Lavorazioni previste e relativi fattori di emissione – Scenario B

Definizione dei punti di calcolo

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche della maglia dei punti di calcolo che è stata definita sul software Aermod per lo scenario B.

Coordinate del centro della maglia Asse X	324117,25
Coordinate del centro della maglia Asse Y	4735557,54
Passo lungo l'asse X	50
Passo lungo l'asse Y	50
N° di punti lungo l'asse X	35
N° di punti lungo l'asse Y	35
N° di punti di calcolo totali	1225

Tabella 9-6 Coordinate maglia dei punti di calcolo – Scenario B

Al fine di poter effettuare, la sovrapposizione degli effetti tra i valori di fondo di qualità dell'aria ed il contributo del progetto in esame, si è fatto riferimento ad un ricettore vegetazionale vicino all'area di cantiere simulata e localizzato all'interno della Zona Speciale di Conservazione "Valnerina", secondo quanto riportato in tabella e figura seguenti.

Ricettore	Coordinata X (m)	Coordinata Y (m)	Destinazione d'uso
C7	324119	4735643	Vegetazione

Tabella 9-7 Coordinate ricettore considerato - Scenario B

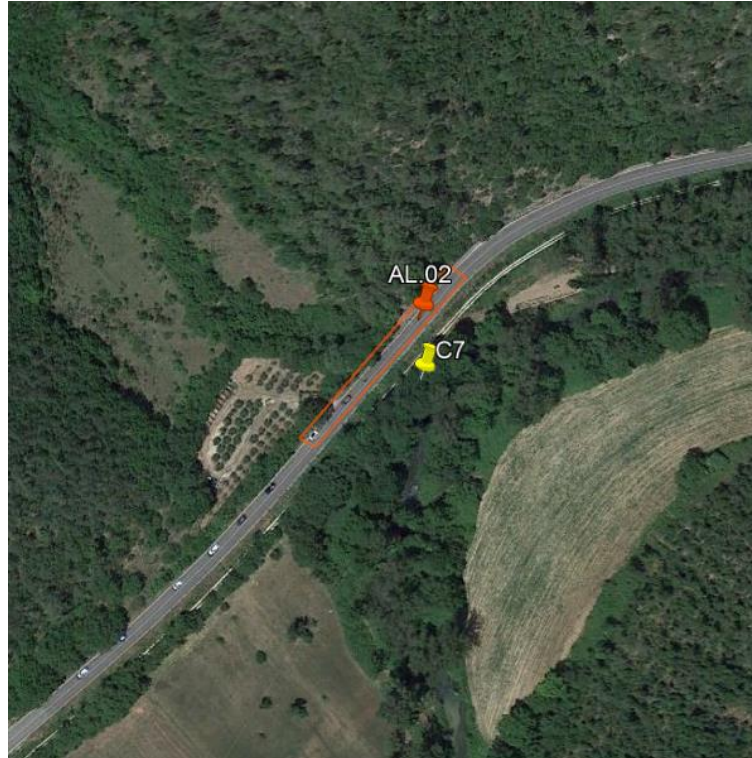


Figura 9-7 Localizzazione ricettore – Scenario B

9.2.2.3 LA METODOLOGIA PER IL CALCOLO DEI FATTORI DI EMISSIONE

Il fattore di emissione rappresenta la parte unitaria delle emissioni che, moltiplicata per l'unità di tempo in cui la sorgente rimane in condizione "attiva", permette il calcolo delle emissioni di inquinanti totali "uscenti" dalla sorgente. Per la stima di tale valore si è fatto riferimento a dati e modelli dell'Agenzia di protezione ambientale degli Stati Uniti (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.

In particolare, per la presente analisi, sono stati presi in considerazione i fattori di emissione relativi al PM10, PM2,5 e NOx (i principali inquinanti generati nelle fasi di cantiere), legati alla formazione e allo stoccaggio dei cumuli (AP-42 13.2.4), all'erosione del vento dai cumuli (AP-42 13.2.5) e al transito dei mezzi su strade non asfaltate (AP-42 13.2.2).

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 ISPRA¹².

I fattori di emissione relativi alla formazione e stoccaggio dei cumuli

Nel presente paragrafo vengono calcolati i fattori di emissione generati dall'attività di carico e scarico del materiale movimentato. Nel caso in esame si tratta delle attività di carico sui mezzi pesanti del materiale scavato e dello scarico dai mezzi del materiale per la realizzazione del rilevato nelle aree di lavorazione, nonché della deposizione del materiale nelle aree di stoccaggio. Al fine di calcolare i fattori di emissione per queste attività è stata, pertanto, applicata la formulazione fornita dall'E.P.A. relativa alle attività di carico e scarico, di seguito riportata.

$$EF_c = k(0.0016) \cdot \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} [kg/t]$$

Il fattore di emissione sopra definito, pertanto, dipende da una costante k che tiene conto della dimensione del particolato che si intende analizzare, della velocità media del vento espressa in metri al secondo, e della % M di umidità del materiale.

Per il valore di k si può fare riferimento ai valori di tabella seguente.

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)				
<30 µm	<15 µm	<10 µm	<5 µm	<2.5 µm
0,74	0,48	0,35	0,20	0,053

Tabella 9-8 Valori coefficiente aerodinamico fonte: EPA AP42

Mentre per il range di validità degli altri parametri è possibile fare riferimento alla tabella seguente.

Ranges Of Source Conditions			
Silt Content (%)	Moisture Content (%)	Wind speed	
		m/s	mph
0,44 – 19	0,25 – 4,8	0,6 – 6,7	1,3 – 15

Tabella 9-9 Range di validità dei coefficienti per il calcolo di EF fonte: EPA AP42

Con riferimento ai valori dei coefficienti, assunti per l'analisi in esame, si è considerato:

¹² fetransp.isprambiente.it

- U = velocità media del vento considerando la configurazione più frequente pari in media a 3,1 m/s (valore desunto dall'analisi meteorologica);
- M = percentuale di umidità considerata pari a 4,8 per i rilevati tradizionali;
- k = pari a 0,35 per considerare l'apporto del PM10 e 0,053 per considerare l'apporto del PM2,5.

I fattori di emissione relativi all'erosione del vento dai cumuli

Oltre all'attività di carico e scarico del materiale, all'interno delle aree di stoccaggio previste è stata considerata, come attività che genera emissioni di PM10 e PM2,5, anche l'erosione del vento sui cumuli di materiale depositati.

Al fine di poter determinare il fattore di emissione di tale azione è possibile riferirsi alla già citata guida dell'EPA. In questo caso il modello fa dipendere il fattore di emissione da due fattori che concorrono alla possibile emissione di particolato da parte del cumulo:

- il numero di "movimentazioni" ovvero di interferenze intese come deposito e scavo di materiale sul/dal cumulo;
- la velocità del vento a cui è sottoposto il cumulo stesso.

La formula per il calcolo del fattore di emissione è data pertanto da:

$$EF = k \sum_{i=1}^N P_i$$

dove k è la costante che tiene conto della grandezza della particella considerata, N è il numero di giorni l'anno in cui la superficie è sottoposta a "movimentazioni" e P_i è pari all'erosione potenziale corrispondente alla velocità massima del vento al giorno. Il valore di k è, anche in questo caso, tabellato.

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)

30 μm	<15 μm	<10 μm	<2.5 μm
1,0	0,6	0,5	0,075

Tabella 9-10 Valori coefficiente aerodinamico (Fonte: EPA AP42)

In ultimo, l'erosione potenziale, P_i , parte dal concetto di profilo di velocità del vento, per il quale è possibile utilizzare la seguente equazione:

$$u(z) = \frac{u^*}{0,4} \ln \frac{z}{z_0}$$

in cui u è la velocità del vento e u^* rappresenta la velocità di attrito.

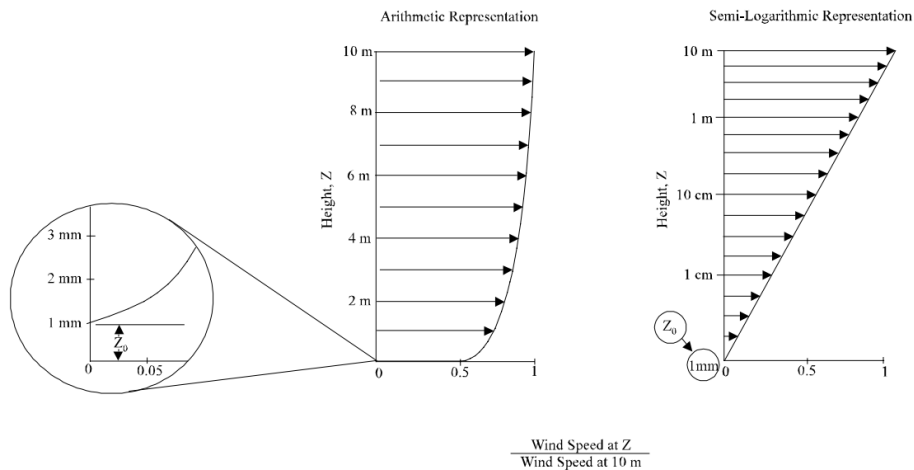


Figura 9-8 Illustrazione del profilo logaritmico della velocità (Fonte: EPA AP42)

L'erosione potenziale, pertanto, dipende dalla velocità di attrito e dal valore soglia della velocità d'attrito secondo l'equazione:

$$P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*)$$

Da tale espressione si evince come ci sia erosione potenziale solo qualora la velocità d'attrito superi il valore soglia. Per la determinazione di tale valore il modello individua una procedura sperimentale (cfr. *1952 laboratory procedures published by W. S. Chepil*). Tuttavia, in mancanza di tali sperimentazioni è possibile fare riferimento ad alcuni risultati già effettuati e riportati in Tabella 9-11.

Material	Threshold Friction Velocity (m/s)	Roughness Height (cm)	Threshold Wind Velocity At 10 m (m/s)	
			Z0=act	Z0=0,5cm
Overburden	1,02	0,3	21	19
Scoria (roadbed material)	1,33	0,3	27	25
Ground coal (surrounding coal pile)	0,55	0,01	16	10
Uncrusted coal pile	1,12	0,3	23	21
Scraper tracks on coal pile	0,62	0,06	15	12
Fine coal dust on concrete pad	0,54	0,2	11	10

Tabella 9-11 Valore di velocità di attrito limite

La velocità del vento massima tra due movimentazioni può essere determinata dai dati meteorologici utilizzati per le simulazioni. Tali dati, essendo riferiti ad un'altezza dell'anemometro pari a 10 metri, non hanno bisogno di alcuna correzione e pertanto è possibile determinare la relazione.

$$u^* = 0,053u_{10}^+$$

in cui u_{10}^+ è la massima intensità misurata nell'arco della giornata attraverso i dati sopracitati.

È importante, inoltre, evidenziare come tale formulazione sia valida per cumuli "bassi", ovvero cumuli per cui il rapporto altezza su diametro sia inferiore a 0,2. Nel caso in esame, in relazione all'operatività del cantiere si è ipotizzata la realizzazione di tali tipologie di cumuli. Non si necessita pertanto di ulteriori correzioni ed è quindi possibile determinare i casi in cui il valore di u^* supera il valore di u_t^* . A tale proposito si è scelto di fare riferimento alla classe "roadbed material".

Nel calcolo di u_{10}^+ è stata considerata anche la presenza di eventuali raffiche. Ordinando i valori in senso decrescente in funzione dei diversi giorni dell'anno è possibile determinare il grafico di Figura 9-9.

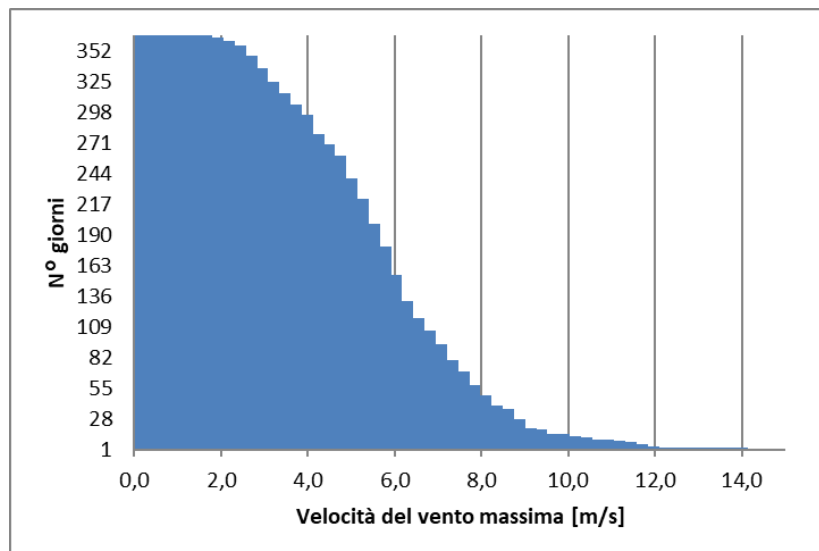


Figura 9-9 Velocità del vento max ordinata in senso crescente

Da tali valori è quindi stato possibile determinare i valori di u^* così come riportato in Figura 9-10.

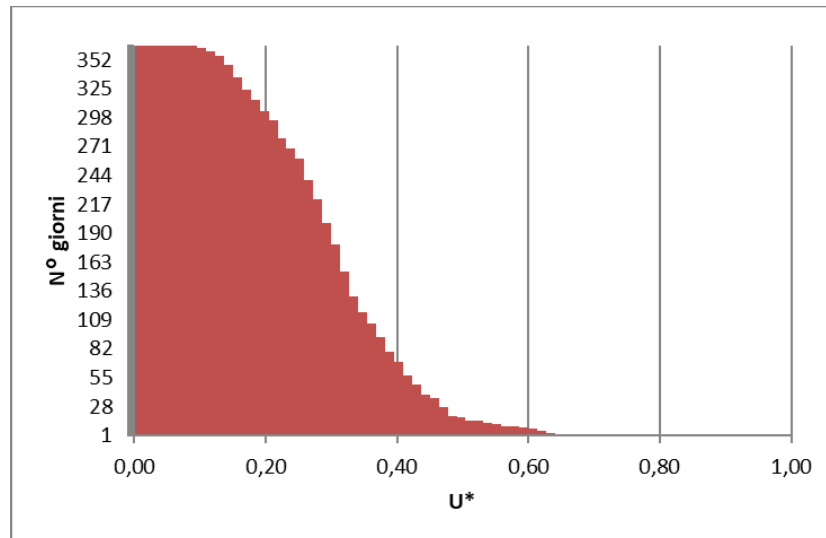


Figura 9-10 - Valori di u^* ordinati in senso crescente

Dall'analisi dei risultati emerge come u^* non assuma mai valori soglia, pertanto, l'effetto dell'erosione del vento sui cumuli di materiale depositato nelle aree di stoccaggio risulta trascurabile.

I fattori di emissione relativi al transito dei mezzi su strade non asfaltate

Per il calcolo dell'emissione di particolato dovuto al transito di mezzi su strade non asfaltate si ricorre al modello emissivo proposto nel paragrafo 13.2.2 "Unpaved roads" dell'AP-42. Il rateo emissivo orario risulta proporzionale al volume di traffico e al contenuto di limo (silt) del suolo, inteso come particolato di diametro inferiore a 75 μm . Il fattore di emissione lineare dell' i -esimo tipo di particolato per ciascun mezzo EF_i (kg km) i per il transito su strade non asfaltate all'interno dell'area industriale è calcolato secondo la formula:

$$EF_i = k_i \times \left(\frac{s}{12}\right)^{a_i} \times \left(\frac{W}{3}\right)^{b_i} [\text{kg/km}]$$

dove i è il tipo di particolato, s il contenuto di limo del suolo in percentuale in massa (%), W il peso medio del veicolo (Mg) e k_i , a_i e b_i sono coefficienti che variano a seconda del tipo di particolato, i cui valori sono riportati nella seguente tabella.

Inquinante	k_i	a_i	b_i
PM10	0,423	0,9	0,45
PM2,5	0,00423	0,9	0,45

Tabella 9-12 Definizione coefficienti

Si specifica che la formulazione sopra riportata è valida per un intervallo di valori di limo (silt) compreso tra

l'1,8% ed il 25,2%. Poiché la stima di questo parametro non è semplice e richiede procedure tecniche e analitiche precise, in mancanza di informazioni specifiche si suggerisce di considerare un valore all'interno dell'intervallo 12-22%.

Considerato, quindi, il peso medio del mezzo di cantiere, i chilometri percorsi ed il numero medio di viaggi nell'unità di tempo è stato possibile calcolare i fattori di emissione del PM10 e del PM2,5 riferiti alle sorgenti lineari considerate nell'analisi.

I fattori di emissione relativi al traffico di cantiere

Per il calcolo dell'emissione relativa al traffico di cantiere è stato fatto riferimento ai fattori di emissione forniti dall'ISPRA¹³. In particolare, è stata utilizzata la classe Heavy Duty Trucks – Diesel – Rigid 20-26t Euro V (riportati nella seguente tabella), tenendo conto del numero dei mezzi impiegati e della lunghezza del percorso.

NOx (g/km)	PM10 (g/km)	PM2,5 (g/km)
2,8776	0,1146	0,0738

Tabella 9-13 Fattori di emissione relativi al traffico di cantiere considerati

I fattori di emissione relativi ai gas di scarico dei mezzi di cantiere

Per il calcolo dell'emissione dei gas di scarico relativa ai mezzi presenti in cantiere è stato fatto riferimento ai fattori di emissione SCAB (South Coast Air Basin) Fleet Average Emission Factors (Diesel, aggiornati al 2021) dei mezzi di cantiere (riportati nella seguente tabella) tenendo conto del numero dei mezzi impiegati e del numero di ore di lavoro giornaliero di ciascuno di essi.

Mezzi di cantiere	Potenza motore (KW)	NOx (g/s)	PM (g/s)
Escavatore	175	0,0425	0,0021
Escavatore con martellone	175	0,0425	0,0021
Pala gommata	175	0,0528	0,0028
Autocarro	250	0,0552	0,0019

Tabella 9-14 Fattori di emissione relativi ai gas di scarico dei mezzi di cantiere considerati

Sintesi dei fattori di emissione per ogni sorgente

Nel seguente paragrafo sono stati riportati i fattori di emissione che sono stati utilizzati nelle simulazioni modellistiche di ogni sorgente emissiva nei due scenari di riferimento.

Scenario A

¹³ etransp.isprambiente.it

Sorgenti emissive	Fattori di emissione		
	NOx (g/s)	PM10 (g/s)	PM2,5 (g/s)
CB.01	0,0954	0,0054	0,0030
AL.01	0,0851	0,0047	0,0026
ST.01	0,0028	0,0001	0,0001
ST.02	0,0003	0,0033	0,0003

Tabella 9-15 Sintesi dei fattori di emissione dello Scenario A

Scenario B

Sorgenti emissive	Fattori di emissione
	NOx (g/s)
AL.01	0,0978

Tabella 9-16 Sintesi dei fattori di emissione dello Scenario B

Si ricorda che, poiché per lo Scenario B è stato considerato un ricettore vegetazionale (cfr. Tabella 9-7), in considerazione del limite annuo per la protezione della vegetazione relativo all'NOx, sono stati considerati i fattori di emissione relativi a tale inquinante.

9.2.3 Output delle simulazioni

Nel presente paragrafo si riportano i principali risultati ottenuti dal modello di simulazione. In particolare, per quanto riguarda le concentrazioni degli inquinanti di interesse stimate sull'intera maglia di calcolo è possibile far riferimento agli elaborati grafici allegati:

- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni PM10 – Cantiere"
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni PM2,5 – Cantiere"
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni NOx – Cantiere"

9.2.3.1 SCENARIO A

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

- le concentrazioni medie annue di PM10, PM2,5, NOx e 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.

PM10

Concentrazioni medie annue di PM10

Nella tabella di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua di PM10 emersi dalle simulazioni in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

Ricettore	Concentrazione media annua di PM10 (µg/m ³)	Media annua di PM10 registrata dalla centralina (µg/m ³)	Qualità dell'aria complessiva (µg/m ³)	Limite normativo (µg/m ³)
C1	0,045	19	19,045	40
C4	0,065		19,065	
C5	0,017		19,017	

Tabella 9-17 Concentrazione media annua di PM10 – Scenario A

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza del ricettore C4, pari a 0,065 µg/m³; quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 40 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere di PM10

Nella tabella di seguito si riportano i valori del 90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere di PM10 emersi dalle simulazioni in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

Ricettore	90,4° percentile delle concentrazioni giornaliere di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di PM10 registrata dalla centralina ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C1	0,118	19	19,118	50
C4	0,183		19,183	
C5	0,038		19,038	

Tabella 9-18 90,4° percentile della concentrazione giornaliera di PM10 – Scenario A

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza del ricettore C4, pari a 0,183 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

PM2,5

Concentrazioni medie annue

Nella tabella di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua di PM2,5 emersi dalle simulazioni in prossimità dei punti ricettori residenziali considerati.

Ricettore	Concentrazione media annua di PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di PM2,5 registrata dalla centralina ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C1	0,010	13	13,010	25
C4	0,009		13,009	
C5	0,006		13,006	

Tabella 9-19 Concentrazione media annua di PM2,5 – Scenario A

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza del ricettore C1, pari a 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

NOx

Concentrazioni medie annue

Nella tabella di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua di NO_x emersi dalle simulazioni in prossimità dei ricettori vegetazionali considerati.

Ricettore	Concentrazione media annua di NO _x (µg/m ³)	Media annua di NO _x registrata dalla centralina (µg/m ³)	Qualità dell'aria complessiva (µg/m ³)	Limite normativo (µg/m ³)
C2	0,151	15	15,151	30
C3	0,077		15,077	
C6	0,142		15,142	

Tabella 9-20 Concentrazione media annua di NO_x – Scenario A

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza del ricettore C2, pari a 0,151 µg/m³; quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 30 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

NO₂

Concentrazioni medie annue

Nella tabella di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua di NO₂ emersi dalle simulazioni in prossimità dei ricettori residenziali considerati.

Si ricorda come i valori di concentrazione dell'NO₂ siano stati ottenuti dall'applicazione della formulazione che lega l'NO_x all'NO₂, individuata sulla base dei monitoraggi condotti da ARPA Umbria in prossimità della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo (cfr. Par 6.2.1).

Ricettore	Concentrazione media annua di NO ₂ (µg/m ³)	Media annua di NO ₂ registrata dalla centralina (µg/m ³)	Qualità dell'aria complessiva (µg/m ³)	Limite normativo (µg/m ³)
C1	0,117	10	10,117	40
C4	0,073		10,073	
C5	0,093		10,093	

Tabella 9-21 Concentrazione media annua di NO₂ – Scenario A

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza del ricettore C1, pari a 0,117 µg/m³; quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 40 µg/m³, anche considerando il valore di fondo

della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

99,8° percentile delle concentrazioni orarie dell'NO₂

Nella tabella di seguito si riportano i valori del 99,8° percentile delle concentrazioni orarie dell'NO₂ emersi dalle simulazioni in prossimità dei ricettori residenziali considerati.

Ricettore	99,8° percentile della concentrazione oraria di NO ₂ (µg/m ³)	Media annua di NO ₂ registrata dalla centralina (µg/m ³)	Qualità dell'aria complessiva (µg/m ³)	Limite normativo (µg/m ³)
C1	10,937	10	20,937	200
C4	8,432		18,432	
C5	10,064		20,064	

Tabella 9-22 99,8° percentile della concentrazione oraria dell'NO₂ – Scenario A

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza del ricettore C1, pari a 10,937 µg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di 200 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo.

9.2.3.2 SCENARIO B

Stante il fatto che per lo Scenario B è stato considerato un ricettore vegetazionale, in considerazione del limite annuo per la protezione della vegetazione relativo all'NOx, i risultati delle simulazioni condotte hanno portato alla stima delle concentrazioni di NOx in termini di concentrazioni medie annue.

NOx

Concentrazioni medie annue di NOx

Nella tabella di seguito si riportano i valori di concentrazione media annua di NOx emersi dalle simulazioni in prossimità del ricettore vegetazionale considerato.

Ricettore	Concentrazione media annua di NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di NOx registrata dalla centralina ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C7	8,507	15	23,507	30

Tabella 9-23 Concentrazione media annua di NOx – Scenario B

Si osserva come il valore di concentrazione stimato sia pari a $8,507 \mu\text{g}/\text{m}^3$; quindi, risulta essere inferiore al limite normativo di $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di Spoleto – Madonna di Lugo. Di seguito si mostra la mappa delle isoconcentrazioni relativa alla concentrazione media annua dell'NOx ottenuta mediante la simulazione modellistica.



Figura 9-11 Concentrazione media annua di NOx – Scenario B

9.3 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.

10 CONCLUSIONI DELLO STUDIO

10.1 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 in prossimità dei ricettori presi come riferimento per l'analisi, si osserva una diminuzione delle concentrazioni tra lo stato attuale e lo scenario di progetto, con l'unica eccezione del recettore vegetazionale V2, per il quale nello scenario di progetto si osserva un leggero aumento della concentrazione derivante dalla vicinanza al tratto stradale e dai lavori di adeguamento realizzati.

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.

10.2 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 (cfr. paragrafo 9.3).