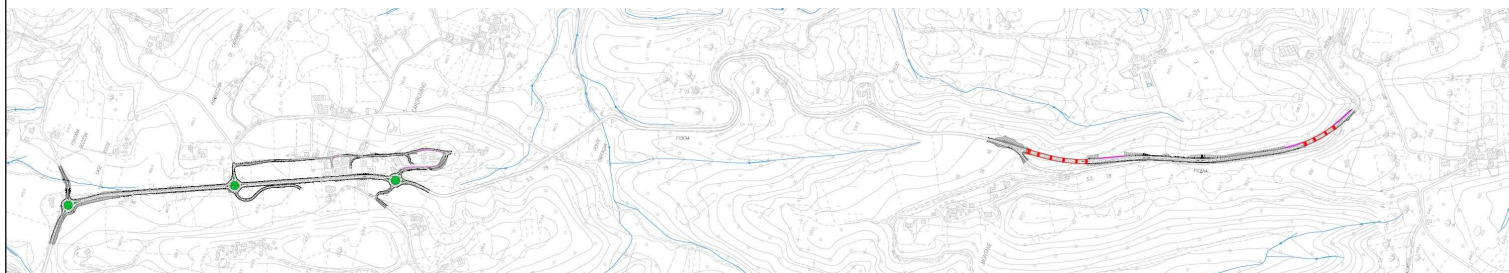


S.S. 78 "SARNANO - AMANDOLA"

LAVORI DI ADEGUAMENTO E/O MIGLIORAMENTO TECNICO FUNZIONALE DELLA SEZIONE STRADALE IN T.S. E POTENZIAMENTO DELLE INTERSEZIONI - 1° STRALCIO



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. Marco MANCINA

PROTOCOLLO

DATA

N. ELABORATO:

R123

STUDIO IMPATTO AMBIENTALE

ANALISI AMBIENTALE - Aria

Studio atmosferico

CODICE PROGETTO

PROGETTO

AN0000D2201

NOME FILE

T00_IA03_AMB_RE01_A

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.	<u>INTRODUZIONE</u>	3
2.	<u>INQUADRAMENTO NORMATIVO</u>	5
2.1.	PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI EUROPEI.....	5
2.2.	PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI NAZIONALI	5
3.	<u>INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO</u>	9
3.1.	IL DATO STORICO	9
3.2.	IL DATO ATTUALE: ANNO 2022	19
3.3.	IL CONFRONTO TRA IL DATO STORICO E IL DATO ATTUALE	23
4.	<u>ANALISI EMISSIVA</u>	28
4.1.	ANALISI EMISSIVA A LIVELLO NAZIONALE	28
4.2.	ANALISI EMISSIVA A LIVELLO REGIONALE.....	30
5.	<u>ANALISI DELLO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA</u>	33
5.1.	LA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA.....	33
5.2.	LA RETE DI MONITORAGGIO E LA CENTRALINA DI RIFERIMENTO	34
5.3.	OSSIDI E BISSIDO DI AZOTO	37
5.4.	PARTICOLATO.....	42
5.5.	BENZENE	45
5.6.	QUADRO SINOTTICO DELL'ARIA	47
6.	<u>I MODELLI DI SIMULAZIONE UTILIZZATI</u>	48
6.1.	COPERT V.....	48
6.2.	CALROADS	48
6.3.	AERMOD VIEW.....	49
7.	<u>LE SIMULAZIONI IN FAS EDI ESERCIZIO</u>	53
7.1.	LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI E LE ANALISI CONDOTTE	53
7.2.	GLI INPUT DEL MODELLO DI CALCOLO	53
7.2.1.	<i>Gli input meteorologici</i>	53
7.2.2.	<i>Gli input progettuali</i>	53
7.2.3.	<i>I risultati dell'analisi allo stato attuale</i>	65
7.2.4.	<i>I risultati dell'analisi allo stato di progetto</i>	68
8.	<u>LE INTERFERENZE IN FASE DI CANTIERE</u>	72
8.1.	ASPETTI GENERALI.....	72
8.2.	GLI INPUT DEL MODELLO DI CALCOLO	72
8.2.1.	<i>Input territoriali</i>	72
8.2.2.	<i>Input progettuali</i>	74
8.2.3.	<i>Output delle simulazioni</i>	82

8.2.4.	<i>L'analisi delle concentrazioni</i>	83
8.3.	BEST PRACTICE DA ADOTTARE DURANTE LA FASE DI CANTIERE	84
9.	<u>CONCLUSIONI DELLO STUDIO</u>	84
9.1.	CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI ESERCIZIO	84
9.2.	CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI CANTIERE	85

1. INTRODUZIONE

Il presente studio atmosferico, condotto nell'ambito dell'adeguamento funzionale e/o miglioramento tecnico-funzionale della sezione stradale in T.S. e potenziamento delle intersezioni lungo la S.S. n. 502 "Cingoli" – S.S.n. 78 "Picena" – nel tratto Sarnano-Amandola (Lotto 2), 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 da due stazioni meteo appartenenti al Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche presenti nel Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico (SIRMIP), ovvero la stazione di Servigliano, da cui è stato possibile estrarre i dati di temperatura e precipitazione, monitorati dal 1990 ad oggi, e dalla stazione di Pintura di Bolognola, equipaggiata a partire dal 2002 per il monitoraggio anemometrico. 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 (2022).

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 delle Sorgenti Emissive, relativo al 2016 (ultimo anno disponibile), redatto da ARPA Marche.

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 Marche, rispetto agli inquinanti di interesse, di seguito elencati:

- Ossido di azoto (NO_x);
- Biossido di azoto (NO₂);
- Particolato PM10;
- Particolato PM2,5;
- Benzene (C₆H₆).

Al fine di caratterizzare al meglio la qualità dell'aria nella zona di intervento si è scelto di far riferimento alla centraline di qualità dell'aria della rete di monitoraggio regionale più vicina al progetto, ovvero la centralina di Montemonaco, classificata come stazione di Fondo Rurale e Suburbano e distante circa 10km dall'area di intervento.

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.

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 Aermid 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, PM2,5, NOx e NO₂) generate dalle lavorazioni legate alla movimentazione del materiale, dai gas di scarico dei mezzi di cantiere e dai traffici di cantiere.

In particolare, è stato individuato un unico scenario 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.

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

Dai risultati ottenuti è emerso come non si riscontrano criticità in fase di cantiere, in quanto anche in prossimità dei ricettori più vicini alle aree di lavorazione e alla viabilità di cantiere i valori rientrano nei limiti normativi.

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

2. INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1. PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI EUROPEI

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

In particolare, si evidenziano le seguenti Direttive:

- Direttiva 96/62/CE relativa alla "valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente"; stabilisce il contesto entro il quale effettuare la valutazione e la gestione della qualità dell'aria secondo criteri armonizzati in tutti i paesi dell'unione europea (direttiva quadro), demandando poi a direttive "figlie" la definizione dei parametri tecnico-operativi specifici per gruppi di inquinanti;
- Direttiva 99/30/CE relativa ai "valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo", stabilisce i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo (prima direttiva figlia);
- Direttiva 00/69/CE relativa ai "valori limite di qualità dell'aria ambiente per benzene ed il monossido di carbonio", stabilisce i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio (seconda direttiva figlia);
- Direttiva 02/03/CE relativa all'"ozono nell'aria" (terza direttiva figlia);
- Direttiva 2001/81/CE relativa ai limiti massimi per le emissioni annue degli Stati membri di biossido di zolfo (SO₂), ossidi di azoto (NO_x), composti organici volatili non metanici (COV) e ammoniaca (NH₃);
- Direttiva 04/107/CE relativa all'"arsenico, cadmio, mercurio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici in aria" che fissa il valore obiettivo per la concentrazione nell'aria ambiente di arsenico, cadmio, mercurio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici;
- Direttiva 08/50/CE 107/CE relativa alla "qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa". Ha abrogato tutte le direttive sopra citate tranne la 2004/107/CE ribadendone, di fatto, i contenuti ed aggiungendo il PM_{2.5} tra gli inquinanti da monitorare.
- Direttiva Europea UE 2016/2284 pubblicata sulla GU.U.E. del 17/12/2016 ed entrata in vigore il 31.12.2016. La cosiddetta "NEC" stabilisce i nuovi obiettivi strategici per il periodo fino al 2030, con l'intento di progredire verso l'obiettivo di miglioramento di lungo termine dell'Unione attraverso l'indicazione di percentuali di riduzione delle emissioni nazionali dal 2020 al 2029 e poi a partire dal 2030.

2.2. PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI NAZIONALI

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

I principali riferimenti sono:

- Il D. Lgs. 351 del 4 agosto 1999 recepisce la direttiva 96/62/CE e costituisce quindi il riferimento "quadro" per l'attuale legislazione italiana;
- Il D.M. 60 del 2 aprile 2002 è la norma che recepisce la prima e la seconda direttiva figlia; definisce, infatti, per gli inquinanti di cui al gruppo I del D.Lgs. 351/1999 con l'aggiunta di benzene e monossido di carbonio (CO); i valori limite e le soglie di allarme, il margine di tolleranza, il termine entro il quale il limite deve essere raggiunto, i criteri per la raccolta dei dati di qualità dell'aria compreso il numero di punti di campionamento, i metodi di riferimento per le modalità di prelievo e di analisi;
- Il D.M. 261 del 1° ottobre 2002 individua le modalità di valutazione preliminare della qualità dell'aria lì dove mancano i dati e i criteri per l'elaborazione di piani e programmi per il raggiungimento dei limiti previsti nei tempi indicati dal D.M. 60/2002;

- Il D. Lgs. 183 del 21 maggio 2004, recepisce la direttiva europea 02/03/CE riguardante l'ozono in atmosfera (terza direttiva figlia), in particolare indica "valori bersaglio" da raggiungere entro il 2010, demanda a Regioni e Province autonome la definizione di zone e agglomerati in cui la concentrazione di ozono superi il valore bersaglio; per tali zone dovranno essere adottati piani e programmi per il raggiungimento dei valori bersaglio. Piani e programmi dovranno essere redatti sulla base delle indicazioni del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. La normativa riporta anche valori a lungo termine (al disotto dei quali non ci si attende alcun effetto sulla salute), soglie di informazione (valori al di sopra dei quali possono esserci rischi per gruppi sensibili) e soglie di allarme (concentrazioni che possono determinare effetti anche per esposizioni a breve termine);
- Il D. Lgs. 171 del 21 maggio 2004, recepisce la direttiva europea 2001/81/CE, riguardante i limiti massimi per le emissioni annue degli Stati membri, individua gli strumenti per assicurare che le emissioni nazionali annue per il biossido di zolfo, per gli ossidi di azoto, per i composti volatili e per l'ammoniaca, rispettino entro il 2010 e negli anni successivi i limiti nazionali di emissione;
- Il D.Lgs. 152/2007 (che recepisce la direttiva 2004/107/CE) è l'ultima norma figlia emanata e si riferisce ad un gruppo di inquinanti (l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), per cui non è ancora possibile una misura in continuo e che si trovano prevalentemente all'interno del particolato sottile. Anche in questo caso vengono stabiliti i limiti di qualità dell'aria, le modalità di misura e le informazioni da fornire al pubblico.

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

Il D.lgs. 155/2010, "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", recepisce la Direttiva 2008/50/CE 107/CE. Quest'unica norma sostituisce sia la legge quadro (DL 351/99) sia i decreti attuativi (che fornivano modalità di misura, indicazioni sul numero e sulla collocazione delle postazioni di monitoraggio, limiti e valori di riferimento per i diversi inquinanti), ribadendo i fondamenti del controllo dell'inquinamento atmosferico e i criteri di monitoraggio ed introducendo, in base alle nuove evidenze epidemiologiche, tra gli inquinanti da monitorare anche il 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 mediazione	di	Valore stabilito	Margine tolleranza	n° sup. consentiti
Biossido di Zolfo SO ₂	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	-	-

Inquinante	Indicatore Normativo	Periodo di mediazione	Valore stabilito	Margine tolleranza	n° sup. consentiti
	Livelli critici per la vegetazione	anno civile e inverno	20 µg/m ³	-	-
Biossido di azoto NO₂	Valore limite protezione salute umana	1 ora	200 µg/m ³	-	18
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	40 µg/m ³	-	-
	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	-	-
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. Tale analisi è strutturata al fine di perseguire una finalità costituita da due fasi consequenziali: in primis occorre analizzare dal punto di vista "storico" il contesto di intervento, definendo, in un arco temporale ampio, le condizioni climatiche che hanno caratterizzato l'area in esame; secondariamente occorre analizzare il dato meteorologico attuale (riferito al 2022) al fine di verificarne la coerenza con il dato storico.

In questo modo sarà possibile validare il dato meteo attuale e verificare che questo non rappresenti un outlier meteorologico.

La presente trattazione, pertanto, sarà divisa in due paragrafi principali: "il dato storico" che descrive l'analisi nell'arco temporale di riferimento e l'analisi dei "dati attuali" riferiti all'anno 2022.

3.1. IL DATO STORICO

Fonte e stazione meteorologica

L'analisi meteorologica è stata effettuata sulla base dei dati forniti dal Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche presenti nel Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico (SIRMIP) che raccoglie i dati registrati da ogni stazione di rilevamento. Nello specifico, è bene sottolineare che ogni stazione è equipaggiata al fine di effettuare il monitoraggio di specifici parametri meteo-climatici. Pertanto, dunque, sono state scelte due stazioni di rilevamento più vicine all'area di oggetto di studio e per le quali erano disponibili i dati necessari alle analisi. Si tratta, pertanto delle seguenti centrali di rilevamento:

- Stazione di Servigliano, distante circa 14km dall'area di intervento, da cui è stato possibile estrarre i dati di temperatura e precipitazione, monitorati dal 1990 al 2019;
- Stazione di Pintura di Bolognola, distante circa 7km dall'area di intervento, equipaggiata dal 2002 per il monitoraggio anemometrico.



Figura 3-1 Localizzazione stazioni di monitoraggio di riferimento

Regime Termico

Il primo aspetto analizzato nella trattazione del dato storico riguarda il regime termico. La Figura 3-1 riporta i dati principali circa le temperature nei tre decenni di analisi.

Mese	Tmin media	T media	Tmax media	Tmin media 1990-1999	Tmin media 2000-2009	Tmin media 2010-2019	T media 1990-1999	T media 2000-2009	T media 2010-2019	Tmax media 1990-1999	Tmax media 2000-2009	Tmax media 2010-2019
Gennaio	0,18	5,27	10,86	0,65	0,65	0,65	5,78	4,53	5,77	10,90	9,88	11,63
Febbraio	0,48	6,24	12,35	0,61	0,61	0,61	6,35	5,38	6,68	12,10	11,80	12,30
Marzo	2,83	9,27	15,92	2,75	2,75	2,75	9,16	8,91	10,37	15,56	15,67	17,06
Aprile	5,85	12,47	19,22	5,30	5,30	5,30	11,62	12,25	14,02	17,93	19,12	21,02
Maggio	10,09	17,10	24,18	9,74	9,74	9,74	16,55	17,48	17,29	23,36	25,08	24,17
Giugno	14,03	21,53	29,02	13,34	13,34	13,34	20,43	21,52	22,52	27,51	29,55	29,99
Luglio	15,53	23,52	31,50	15,13	15,13	15,13	22,76	23,88	23,69	30,40	32,46	31,62
Agosto	15,98	24,02	32,25	15,55	15,55	15,55	23,46	23,83	24,92	31,38	32,42	33,31
Settembre	12,49	19,52	26,94	12,34	12,34	12,34	19,45	18,90	20,41	26,55	26,44	27,89
Ottobre	9,20	15,25	21,75	9,10	9,10	9,10	15,17	15,19	15,84	21,24	21,77	22,48
Novembre	5,44	10,51	15,93	5,14	5,14	5,14	10,14	10,04	11,52	15,13	15,76	17,12
Dicembre	1,44	6,36	11,76	1,72	1,72	1,72	6,29	5,74	7,02	10,87	10,76	13,56

Tabella 3-1 Regime Termico (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Con riferimento alla temperatura media registrata nei tre decenni è possibile notare come le temperature siano comprese tra 5,3°C e 24°C, rispettivamente registrate nei mesi di gennaio e di agosto,

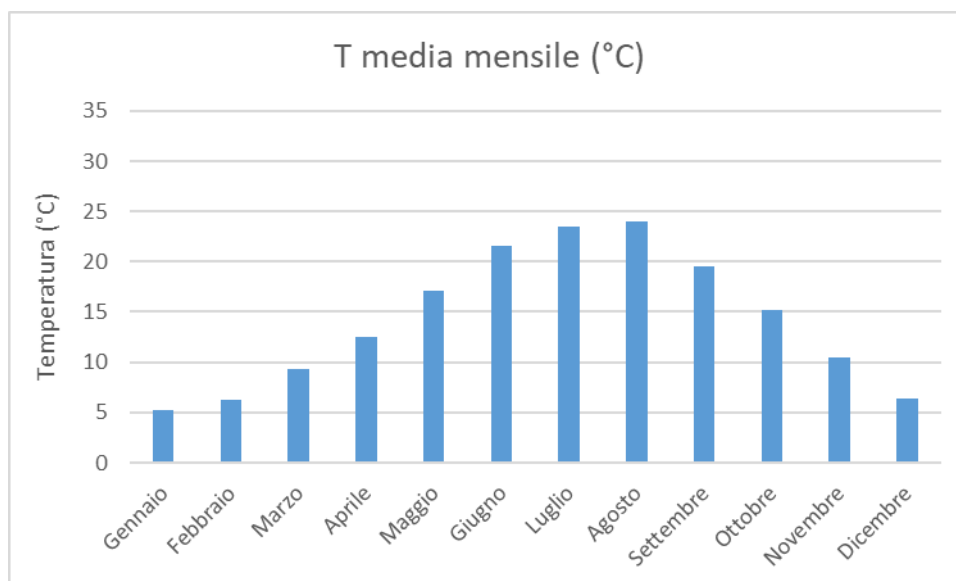


Figura 3-2 Temperatura media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Analizzando i valori massimi e minimi medi della temperatura nelle tre decadi si osserva come le massime medie variano tra i 10,9°C e i 32°C rispettivamente stimate nei mesi di gennaio e agosto, mentre le minime medie variano tra i 0,2°C e 16°C, dati registrati sempre nei due mesi sopra riportati,

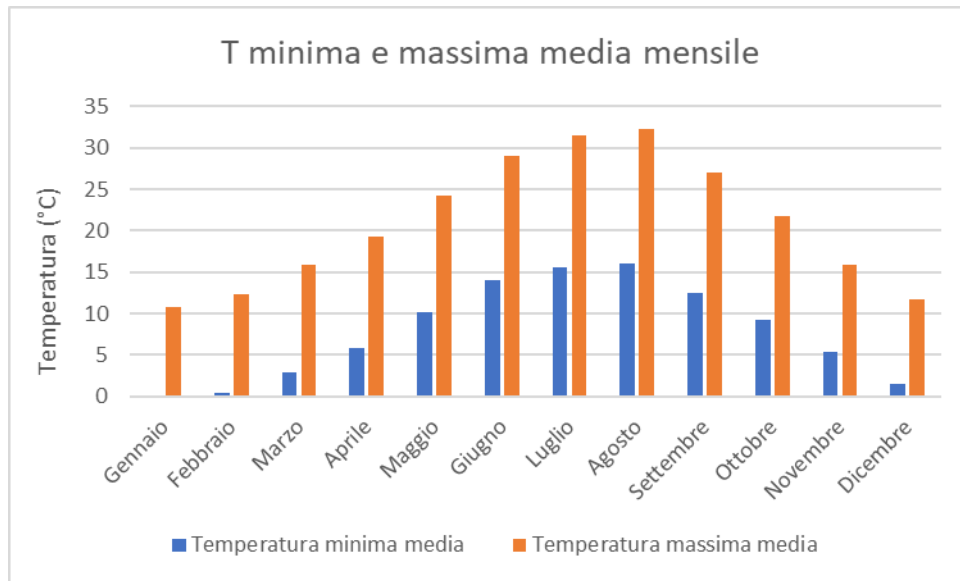


Figura 3-3 Temperatura massima e minima media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

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 (1990 – 1999; 2000 – 2009; 2010 – 2019),

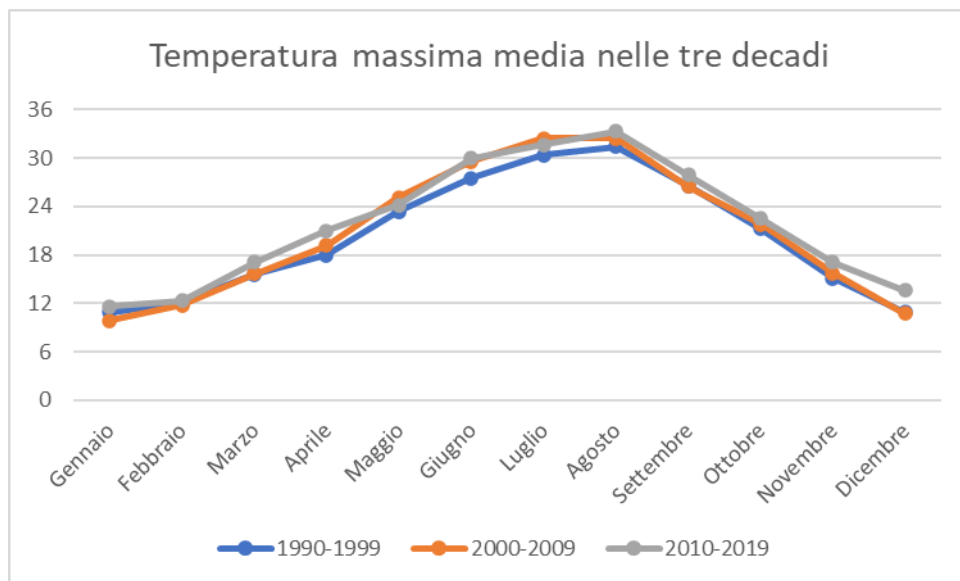


Figura 3-4 Temperatura massima media suddivisa per decadi (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Dalla Figura 3-2 si può notare nel corso dei decenni un aumento generale delle temperature che, come osservabile in figura, risulta essere più marcato in termini di differenza tra la temperatura stimata nella decade più recente e quella relativa al periodo 1990-1999 nei mesi e nel mese di dicembre. È proprio in quest'ultimo mese che l'aumento percentuale rispetto alla prima decade risulta essere il più marcato, essendo pari al 25%,

Inversamente a quanto visto per la temperatura massima media, l'analisi delle temperature minime medie mensili ha messo in evidenza come per il mese di dicembre si osservi una variazione

negativa per il periodo 2010-2019, pari al -8% rispetto al periodo 1990-1999, Per i mesi invernali di febbraio e marzo si registra un aumento considerevole per la terza decade, con temperature massime medie mensili che raggiungono una variazione percentuale per quest'ultimo mese del 182% (cfr, Figura 3-5),

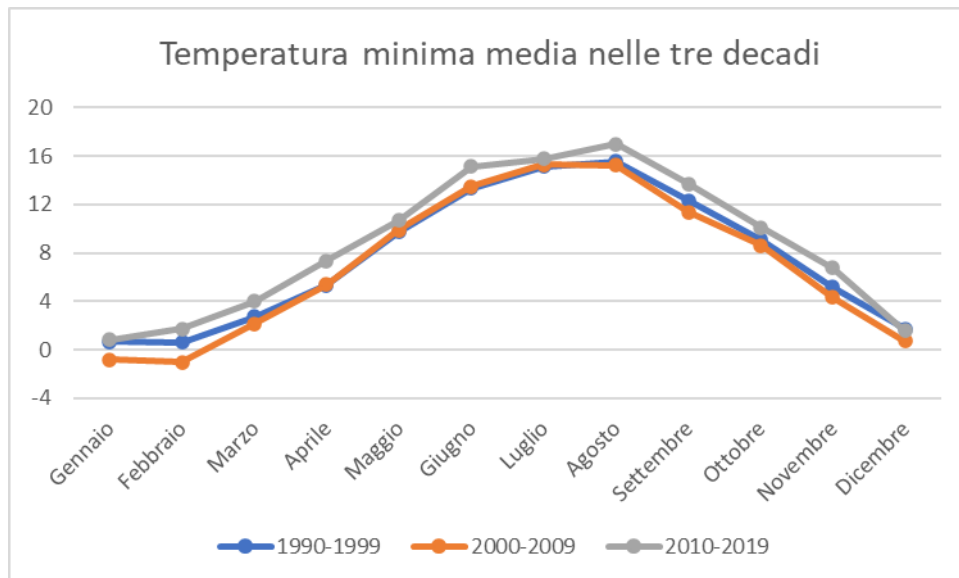


Figura 3-5 Temperatura minima media suddivisa per decadi (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Regime pluviometrico

Il regime pluviometrico è definito attraverso i dati registrati e riportati nella Tabella 3-2, In tale tabella sono anche riportati i dati circa l'umidità registrata nonché la presenza di nebbia e di copertura nuvolosa,

Mese	Precipitazione media mensile	N,giorni medi >1mm	N,giorni medi >5mm	N,giorni medi >10mm	N,giorni medi >50mm
Gennaio	57,6	7,33	3,30	1,60	0,07
Febbraio	57,8	7,47	3,77	1,67	0,00
Marzo	72,4	7,77	3,63	1,97	0,10
Aprile	77,0	8,67	4,20	2,47	0,17
Maggio	73,4	8,63	4,53	2,47	0,03
Giugno	69,2	6,63	3,87	2,13	0,20
Luglio	49,9	5,20	2,60	1,67	0,07
Agosto	47,0	4,83	2,87	1,63	0,00
Settembre	80,7	7,57	4,60	2,70	0,10
Ottobre	72,0	7,73	4,10	2,47	0,07
Novembre	96,8	9,47	5,13	2,73	0,23
Dicembre	96,0	9,70	4,83	2,70	0,30

Tabella 3-2 Regime Pluviometrico (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

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 3-6

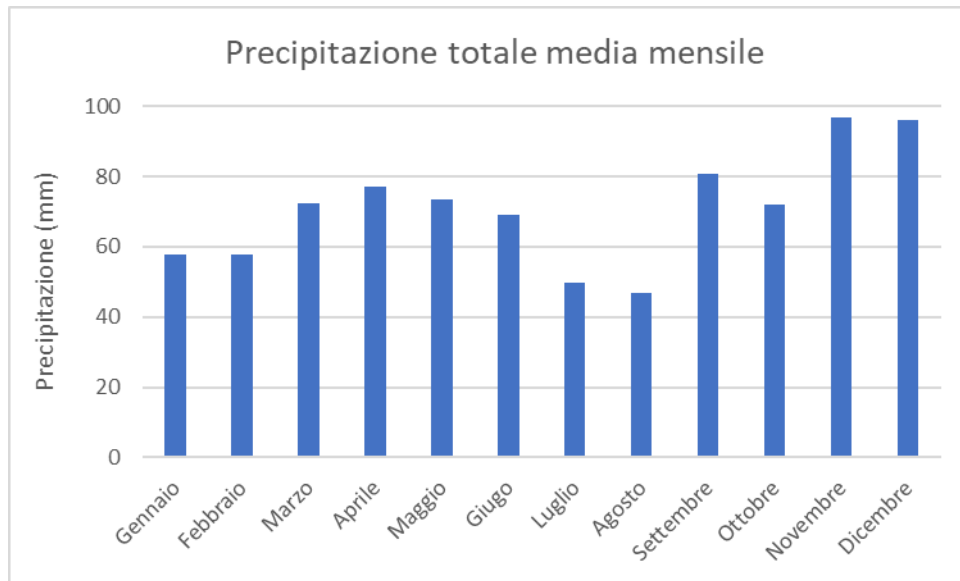


Figura 3-6 Precipitazione totale media mensile (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

È possibile notare come il mese con la media mensile più elevata sia novembre con circa 100mm di precipitazione, mentre il mese maggiormente asciutto è agosto con un valore di circa 47 mm,

Inoltre, 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 3-7, vengono riportati il numero medio di giorni con precipitazioni superiori ad 1, 5, 10 e 50 mm, Come si può osservare, i mesi in cui si registrano mediamente il numero maggiore di superamenti per ogni evento pluviometrico sono novembre e dicembre, insieme ai mesi di aprile e maggio.

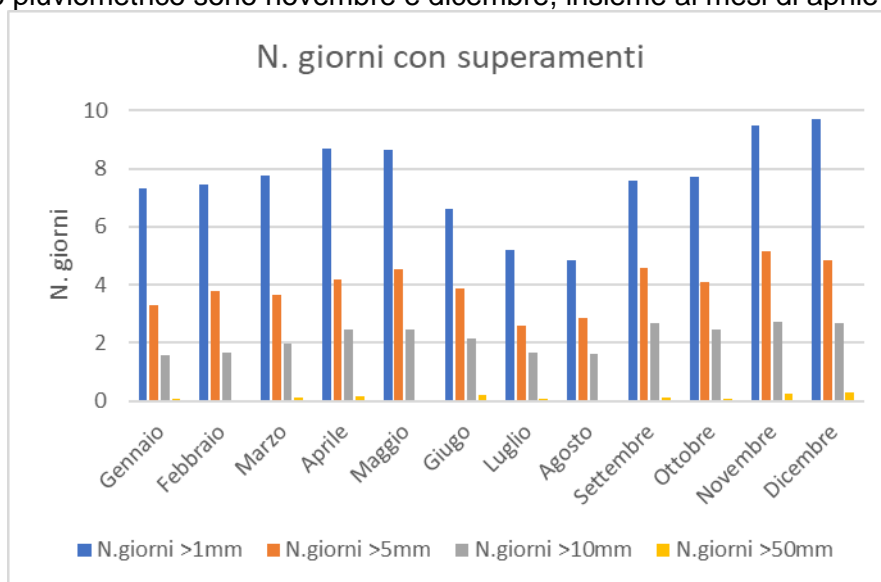


Figura 3-7 N° di giorni medio al mese con precipitazioni superiori a 1, 5, 10 e 50mm di precipitazioni (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Regime anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi al vento è possibile identificare si ala direzione, sia l'entità espressa in m/s, suddivise nelle seguenti classi:

- 0,5 – 5 m/s;

- 6 – 10 m/s;
- >10 m/s.

I valori registrati dalla centralina di riferimento sono riportati nelle tabelle sottostanti. Nello specifico, i dati sono divisi per ciascuna stagione nei seguenti intervalli temporali giornalieri;

- H. 00-05;
- H. 06-11;
- H. 12-17;
- H. 18-23.

Storico inverno h.00-05																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.2%	0.9%	3.6%	3.9%	11.3%	3.5%	1.3%	1.0%	2.1%	3.0%	5.2%	3.2%	4.3%	2.8%	2.0%	1.2%
6 - 10 m/s	0.5%	0.3%	0.4%	0.3%	1.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.3%	0.6%	1.9%	1.7%	1.5%	0.7%	0.1%	0.2%
>10 m/s	0.5%	0.4%	0.2%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.7%	1.5%	1.8%	0.8%	0.1%	0.0%	0.2%
Storico inverno h.06-11																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.0%	0.9%	4.0%	3.9%	11.4%	5.8%	1.6%	0.9%	1.8%	2.8%	5.8%	3.6%	4.5%	2.7%	1.6%	0.8%
6 - 10 m/s	0.6%	0.3%	0.6%	0.3%	1.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.2%	0.6%	2.1%	1.6%	1.3%	0.6%	0.1%	0.2%
>10 m/s	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.6%	1.3%	1.4%	0.7%	0.2%	0.0%	0.1%
Storico inverno h.12-17																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	0.8%	1.0%	4.4%	4.4%	10.9%	8.0%	2.0%	0.8%	1.7%	2.8%	7.1%	5.2%	6.2%	2.9%	1.2%	0.7%
6 - 10 m/s	0.4%	0.4%	0.4%	0.3%	0.7%	0.1%	0.0%	0.0%	0.3%	0.5%	1.8%	1.8%	1.6%	0.7%	0.1%	0.3%
>10 m/s	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	1.4%	1.3%	0.7%	0.3%	0.0%	0.0%
Storico inverno h.18-23																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.1%	0.9%	3.5%	3.9%	12.2%	4.3%	1.2%	0.8%	1.7%	2.6%	5.3%	3.8%	4.2%	2.8%	2.2%	1.0%
6 - 10 m/s	0.5%	0.3%	0.4%	0.3%	0.8%	0.2%	0.0%	0.0%	0.2%	0.4%	1.7%	1.7%	1.4%	0.5%	0.1%	0.2%
>10 m/s	0.3%	0.4%	0.3%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.7%	1.6%	1.4%	0.9%	0.2%	0.0%	0.2%

Tabella 3-3 Regime Anemometrico, stagione Inverno (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Iidro-Pluviometrico)

Storico primavera h.00-05																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.3%	1.4%	6.2%	6.1%	11.4%	3.3%	1.4%	1.1%	2.9%	4.3%	7.1%	3.9%	4.2%	3.2%	2.4%	2.0%
6 - 10 m/s	0.2%	0.3%	0.4%	0.2%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.2%	0.5%	2.3%	1.8%	1.1%	0.2%	0.1%	0.2%
>10 m/s	0.2%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.8%	1.0%	0.5%	0.1%	0.0%	0.1%
Storico primavera h.06-11																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.1%	1.0%	6.3%	5.7%	13.5%	8.0%	2.4%	1.1%	2.3%	4.1%	8.9%	5.1%	5.0%	3.3%	1.9%	1.7%
6 - 10 m/s	0.1%	0.3%	0.4%	0.2%	0.6%	0.2%	0.0%	0.0%	0.3%	0.5%	2.1%	1.5%	1.0%	0.4%	0.1%	0.2%
>10 m/s	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.5%	0.5%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
Storico primavera h.12-17																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.0%	1.3%	7.2%	7.4%	14.8%	8.7%	2.6%	0.9%	1.7%	3.5%	8.9%	6.1%	6.4%	3.9%	1.4%	1.5%
6 - 10 m/s	0.2%	0.2%	0.4%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.4%	1.6%	1.4%	1.5%	0.8%	0.1%	0.1%
>10 m/s	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
Storico primavera h.18-23																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.3%	1.6%	6.3%	6.2%	11.1%	3.4%	1.3%	0.9%	2.4%	4.3%	7.2%	5.0%	5.8%	3.3%	2.2%	1.9%
6 - 10 m/s	0.4%	0.4%	0.5%	0.3%	0.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.3%	0.6%	2.1%	1.7%	1.2%	0.5%	0.1%	0.2%
>10 m/s	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.8%	1.0%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%

Figura 3-8 Regime Anemometrico, stagione primavera (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Iidro-Pluviometrico)

Storico estate h.00-05																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.3%	3.1%	6.8%	5.2%	7.5%	2.5%	1.6%	1.3%	3.4%	4.9%	8.9%	3.8%	4.2%	2.7%	2.2%	2.2%
6 - 10 m/s	0.0%	0.4%	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.5%	2.0%	1.6%	0.9%	0.3%	0.0%	0.3%
>10 m/s	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.6%	0.6%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%
Storico estate h.06-11																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.1%	3.2%	8.3%	5.1%	11.6%	6.3%	2.1%	1.1%	2.1%	3.6%	11.6%	7.7%	6.1%	3.3%	1.6%	2.0%
6 - 10 m/s	0.1%	0.3%	0.2%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.3%	1.3%	0.8%	0.6%	0.2%	0.0%	0.1%
>10 m/s	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Storico estate h.12-17																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	0.8%	3.4%	10.2%	7.2%	13.3%	8.0%	1.9%	0.8%	1.1%	2.8%	11.4%	7.5%	8.0%	3.6%	1.1%	1.6%
6 - 10 m/s	0.1%	0.3%	0.4%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	1.0%	1.1%	1.2%	0.7%	0.1%	0.2%
>10 m/s	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Storico estate h.18-23																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.1%	3.5%	7.3%	5.9%	8.7%	2.7%	1.3%	1.0%	2.5%	4.1%	10.2%	6.0%	6.3%	3.0%	1.8%	1.8%
6 - 10 m/s	0.2%	0.4%	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	2.1%	1.6%	1.1%	0.4%	0.0%	0.3%
>10 m/s	0.0%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%

Figura 3-9 Regime Anemometrico, stagione estate (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Storico estate h.00-05																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	0.8%	1.4%	6.3%	5.0%	11.8%	4.1%	1.8%	1.3%	2.8%	4.5%	6.0%	3.1%	3.6%	2.3%	1.7%	1.2%
6 - 10 m/s	0.3%	0.2%	0.5%	0.4%	0.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.6%	1.1%	2.3%	1.5%	0.8%	0.2%	0.1%	0.0%
>10 m/s	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.6%	1.1%	0.8%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%
Storico estate h.06-11																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	0.7%	1.0%	6.1%	4.7%	12.2%	6.7%	2.1%	1.3%	2.9%	3.8%	7.8%	3.7%	4.0%	2.0%	1.2%	0.9%
6 - 10 m/s	0.2%	0.2%	0.4%	0.3%	0.6%	0.2%	0.0%	0.0%	0.4%	1.2%	2.3%	1.4%	0.8%	0.2%	0.0%	0.1%
>10 m/s	0.3%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	1.0%	0.6%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
Storico estate h.12-17																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	0.8%	1.1%	6.2%	5.2%	12.0%	7.3%	1.8%	1.0%	2.4%	4.2%	8.9%	5.7%	6.2%	2.5%	1.0%	0.9%
6 - 10 m/s	0.2%	0.1%	0.6%	0.2%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.5%	1.0%	2.2%	1.6%	1.0%	0.3%	0.0%	0.0%
>10 m/s	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	0.9%	0.6%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
Storico estate h.18-23																
Velocità venti (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5 - 5 m/s	1.0%	1.5%	6.1%	4.9%	12.1%	4.1%	1.6%	1.2%	2.8%	4.2%	6.5%	3.4%	3.7%	2.4%	1.9%	1.2%
6 - 10 m/s	0.2%	0.1%	0.4%	0.3%	0.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.5%	1.1%	2.3%	1.5%	0.9%	0.3%	0.1%	0.1%
>10 m/s	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	1.1%	0.6%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%

Figura 3-10 Regime Anemometrico, stagione autunno (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Nelle figure seguenti viene riportata, per ciascuna stagione, la rosa dei venti, in cui viene riportata ad ogni direzione di provenienza dei venti la frequenza percentuale e le frequenze percentuali associate di velocità dei venti, espresse in m/s.

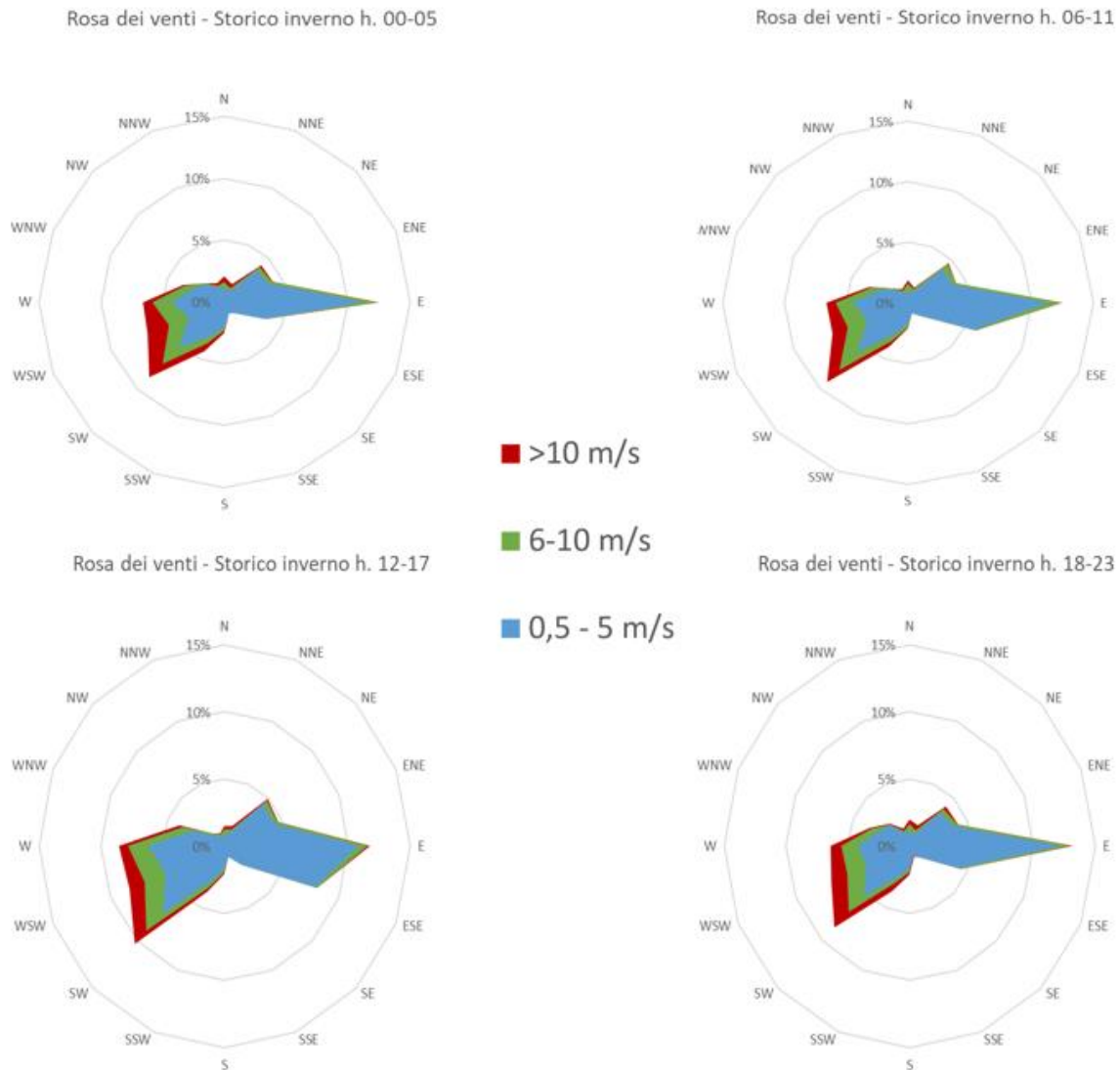


Figura 3-11 Regime anemometrico invernale nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

L'analisi dei diagrammi mostra per la stagione invernale una prevalenza di venti con direzione da E, W e WSW. Non si osservano sostanziali differenze tra i quattro intervalli temporali analizzati. Le velocità sono concentrate principalmente nella prima classe per i venti provenienti da Est; viceversa, si osserva la presenza di venti che spirano in direzione opposta ai quali è associato un contributo moderato di venti che spirano con velocità maggiori di 6 m/s.

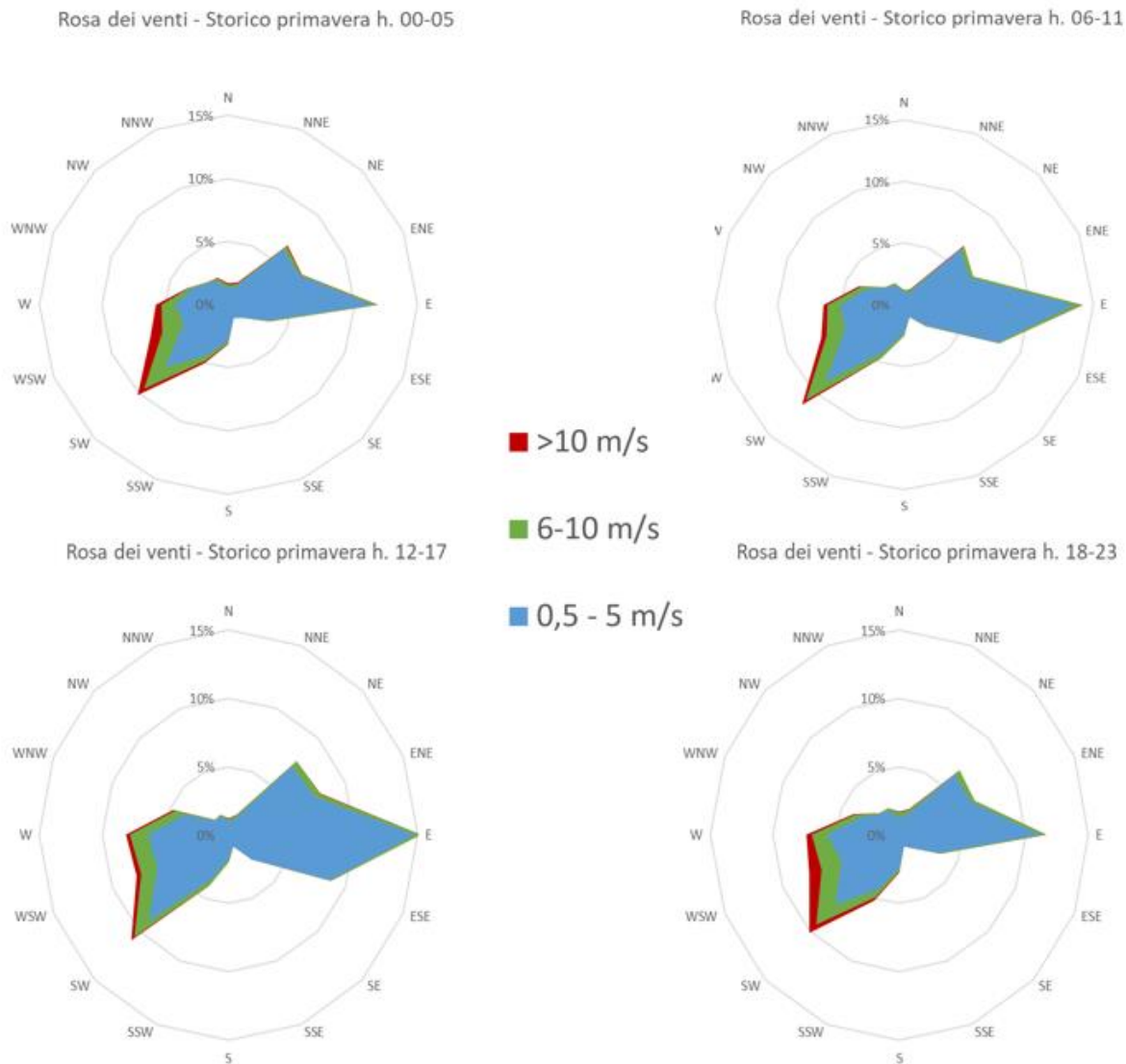


Figura 3-12 Regime anemometrico primaverile nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Anche per la stagione primaverile si osserva la stessa tendenza dei venti a spirare da E, Ovest e WSW. Le velocità dei venti rimangono più marcate nell'intervallo 0,5-5 m/s rispetto alla stagione precedente.

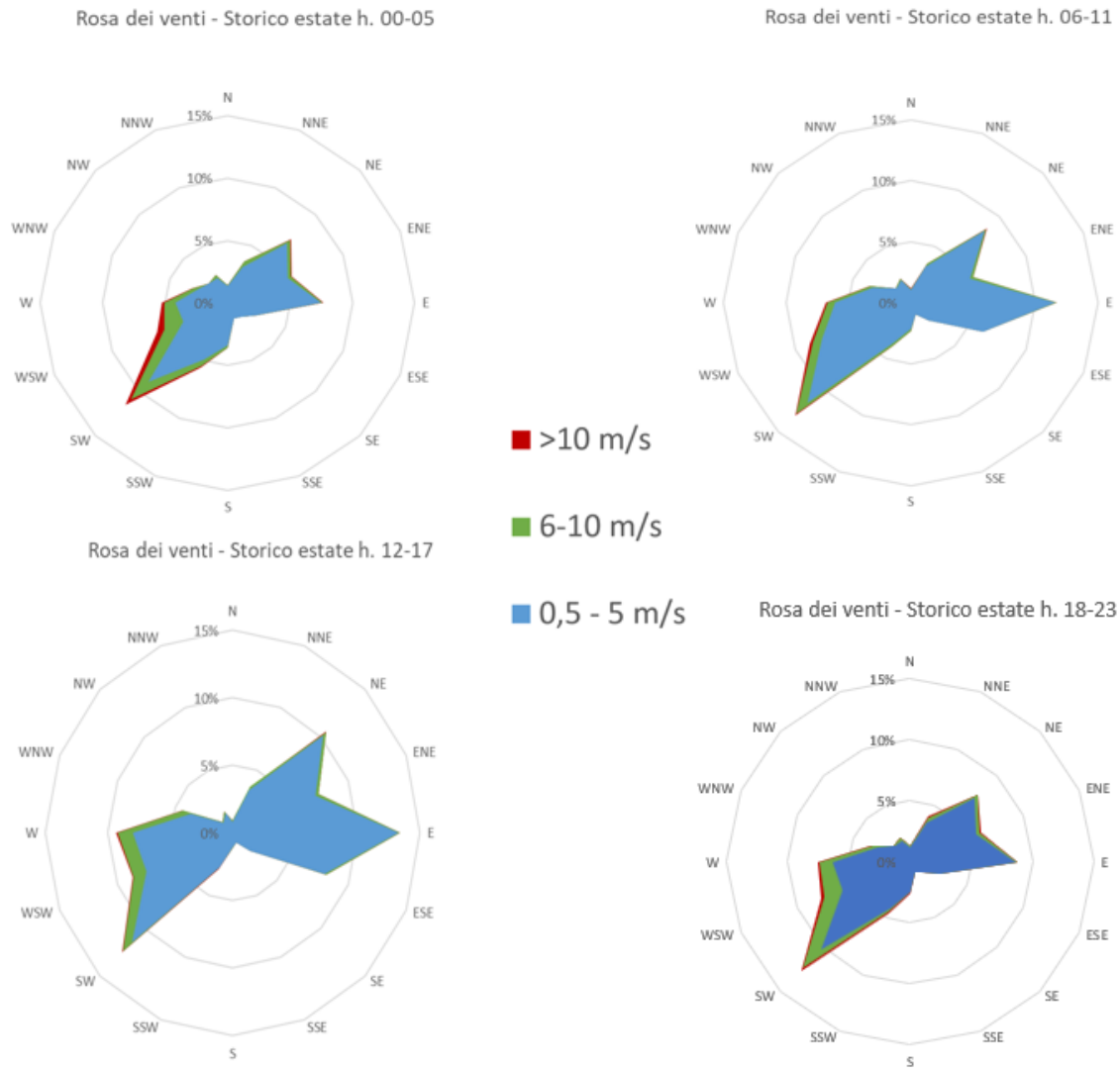


Figura 3-13 Regime anemometrico estivo nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Anche per la stagione estiva la direzione E rimane la più frequente, oltre alla direzione SW. Relativamente alle velocità associate, rispetto alle precedenti stagioni tale valore è inferiore ai 5 m/s nella maggior parte delle ore.

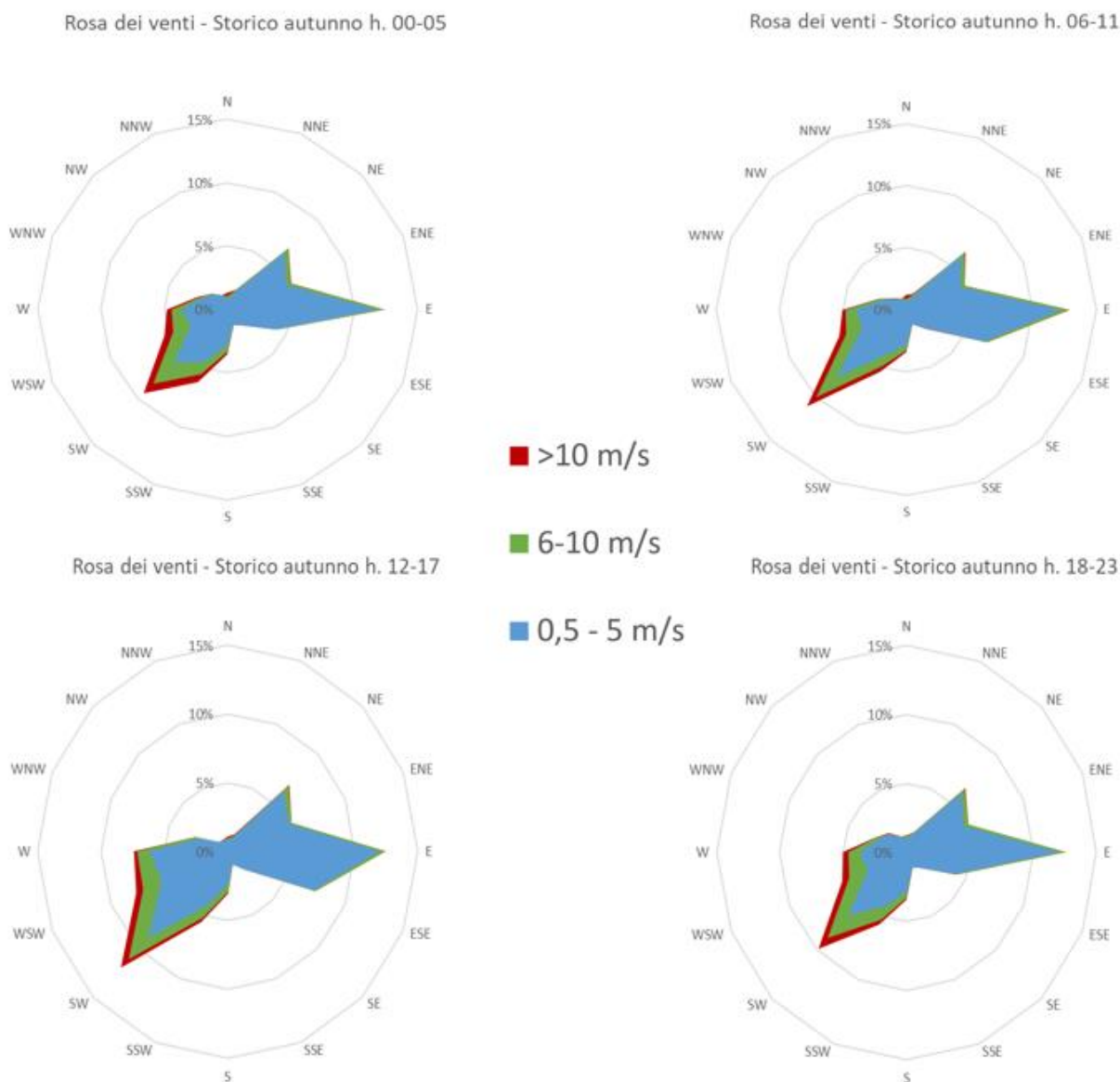


Figura 3-14 Regime anemometrico autunnale nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Relativamente alla stagione autunnale, l'andamento dei venti e le velocità ad essi associate sono pressoché uguali al periodo invernale.

3.2. IL DATO ATTUALE: ANNO 2022

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, al fine di potere definire e valutare lo stato meteo-climatico dell'area di interesse.

In particolare, i dati meteorologici relativi al dato attuale (anno 2022) sono stati ricavati a partire dalle misurazioni registrate dalle due stazioni meteorologiche appartenenti al Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico (SIRMIP) di Bolognola e di Servigliano, già utilizzate per effettuare l'analisi storica dei principali parametri meteo-climatici caratterizzanti il territorio. Nello

specifico, le stazioni di monitoraggio scelte hanno registrato, per l'anno 2022, misurazioni con una frequenza di 10 minuti, per un totale di 6 misurazioni l'ora.

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.
- **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.
- **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.

Regime termico

Per quanto riguarda le temperature nell'anno di riferimento, come visibile dalla Figura 3-15, si registrano temperature maggiori nei mesi estivi di giugno, luglio e agosto, con un massimo assoluto di 36 °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 -4 °C nei mesi di gennaio e di marzo. In generale, la media annua è pari a circa 14,2°C.

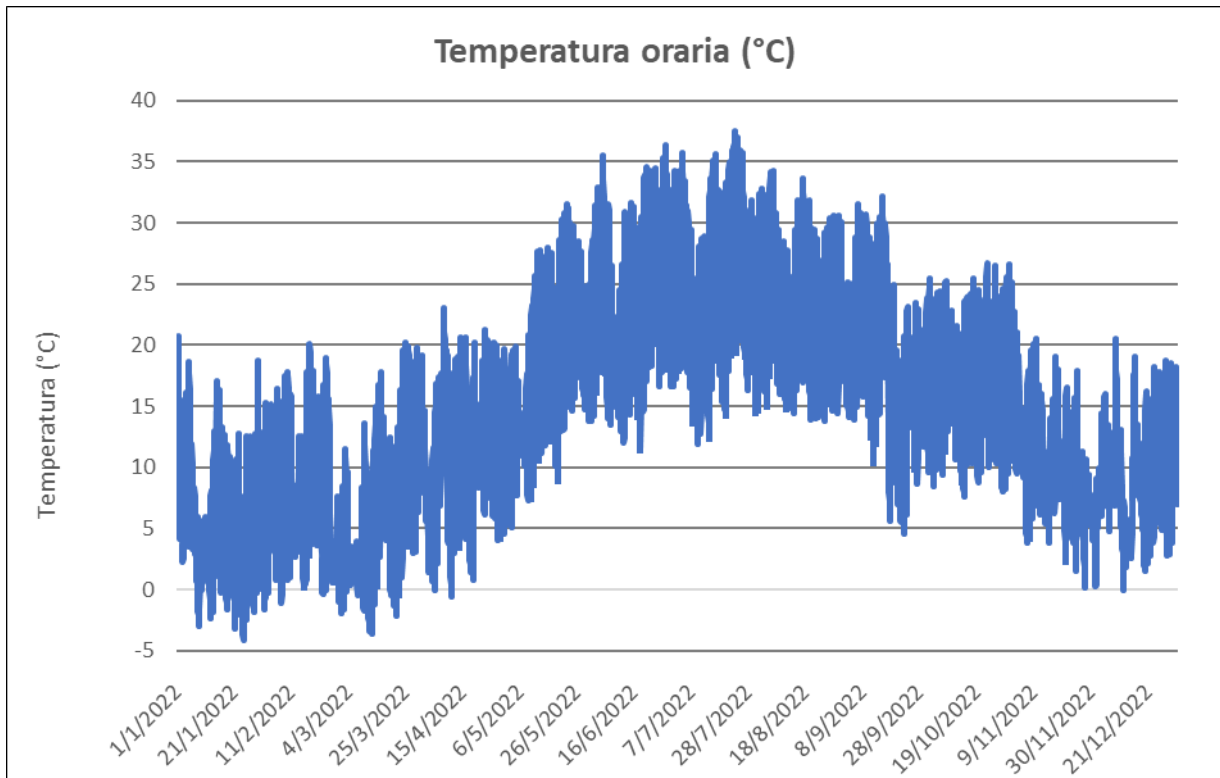


Figura 3-15 Temperatura oraria (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Regime anemometrico

L'intensità del vento registrata, Figura 3-16, assume dei picchi di valore principalmente nei mesi invernali e autunnali, presentando però un valore massimo ad inizio aprile, pari a 25 m/s. La velocità dei venti si mantiene pari a circa 3,40 m/s.

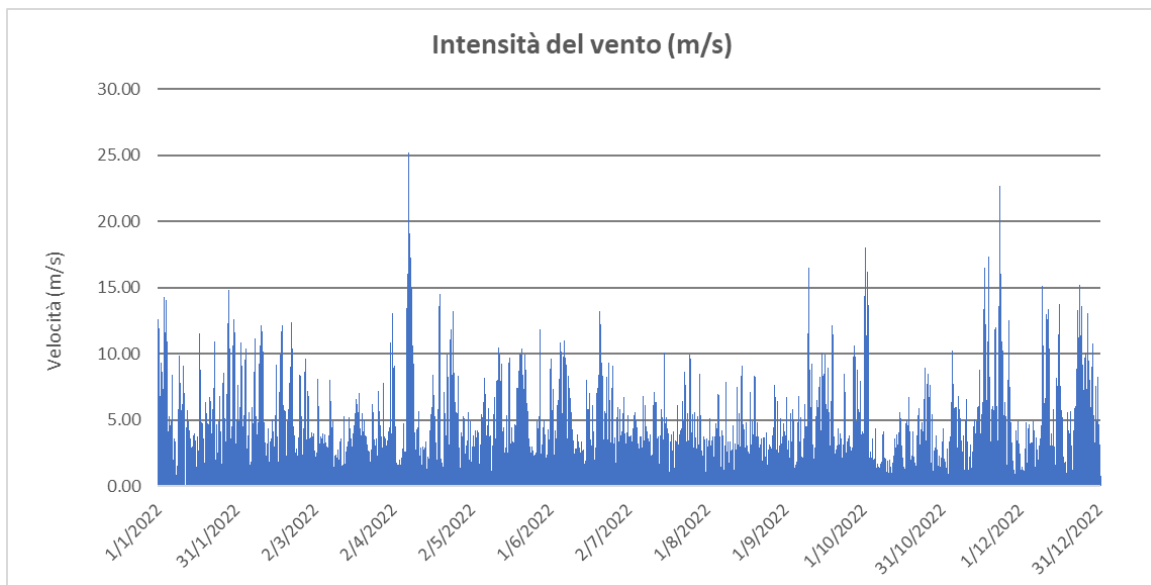


Figura 3-16 Intensità del vento (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

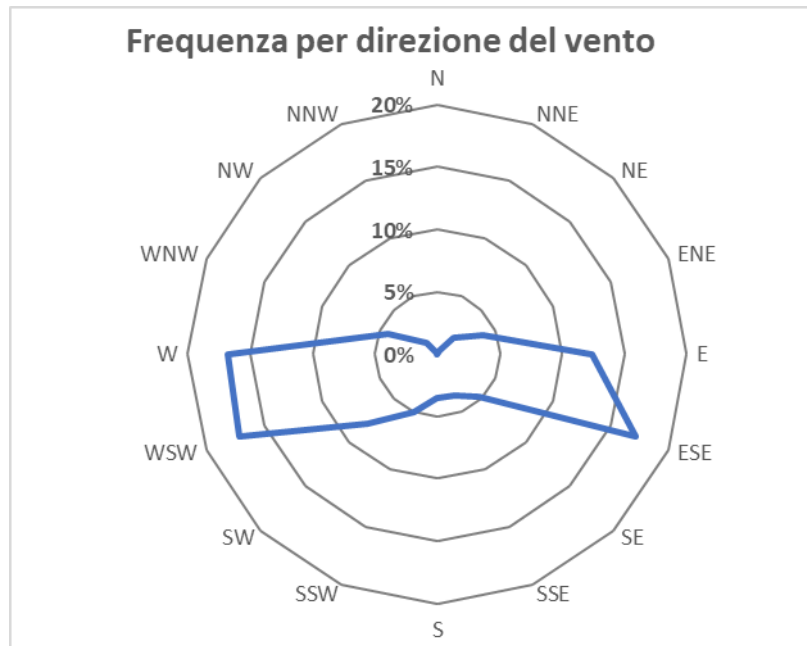


Figura 3-17 Frequenza per direzione di vento (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

In relazione alla frequenza percentuale per direzione del vento, Figura 3-17, 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 3-4 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 3-4 Grado di nuvolosità

Dal grafico riguardante la frequenza del grado di nuvolosità, Figura 3-18, 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.

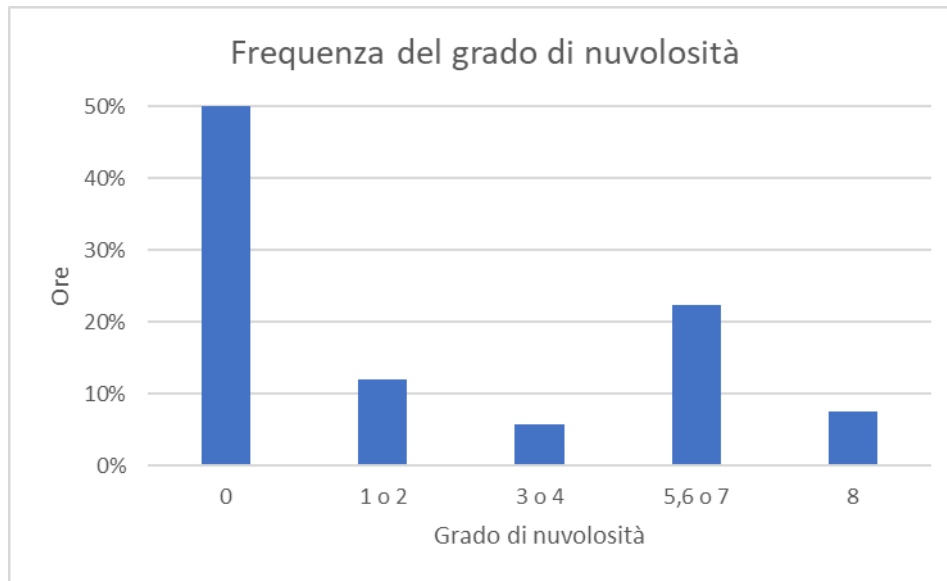


Figura 3-18 Frequenza del grado di nuvolosità (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

3.3. IL CONFRONTO TRA IL DATO STORICO E IL DATO ATTUALE

Parametri di confronto

In relazione all'aspetto meteorologico, è opportuno verificare la bontà del dato attuale assunto rispetto alla serie storica analizzata.

Ciò che si intende valutare, quindi, è la significatività del dato attuale 2022 rispetto alle condizioni meteorologiche che generalmente si verificano nell'area di intervento in cui sono localizzate le stazioni meteo utilizzate per tale analisi (Stazione di Servigliano e di Pintura di Bologna), prossime al luogo di intervento.

Con tale verifica sarà quindi evidenziato come il dato meteorologico del 2022 sia conforme al dato storico, non rappresentando così un "outlier" rispetto alle condizioni meteo climatiche medie storiche analizzate nella stessa area. Nello specifico verranno, quindi, di seguito, analizzati e confrontati i principali parametri meteorologici, quali il regime termico ed il regime anemometrico.

Regime termico

Per quanto riguarda il Regime Termico il confronto è stato effettuato in primis tra le temperature medie mensili (cfr. *Figura 3-19*). 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 aprile, dove è pari a circa 1,8°C, mentre per il resto dei mesi si mantiene compresa entro gli 1,5°C.

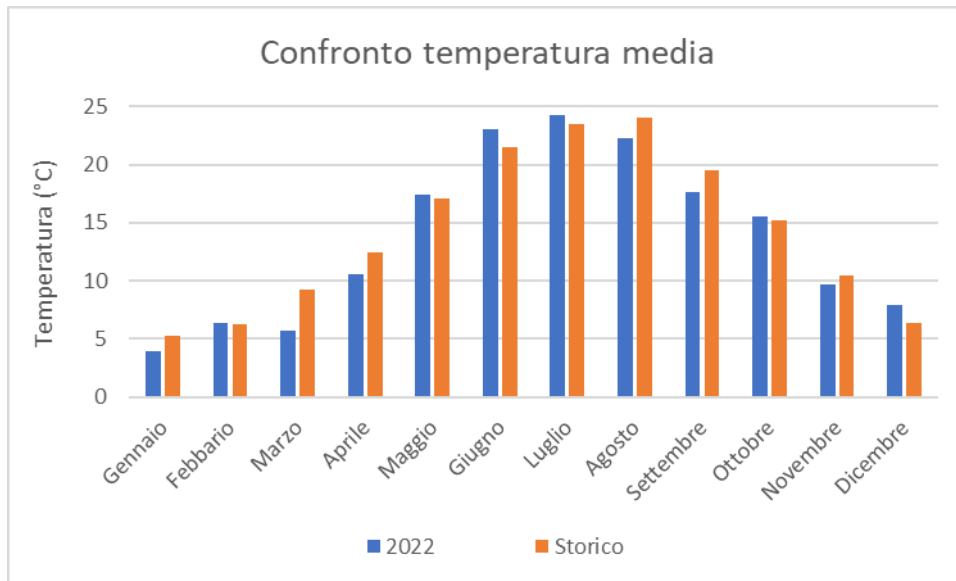


Figura 3-19 Confronto temperatura media (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Anche nel confronto della temperatura massima media e minima media (cfr. Figura 3-20) tra le tre decadi precedentemente studiate e l'anno di riferimento, il trend rimane analogo.

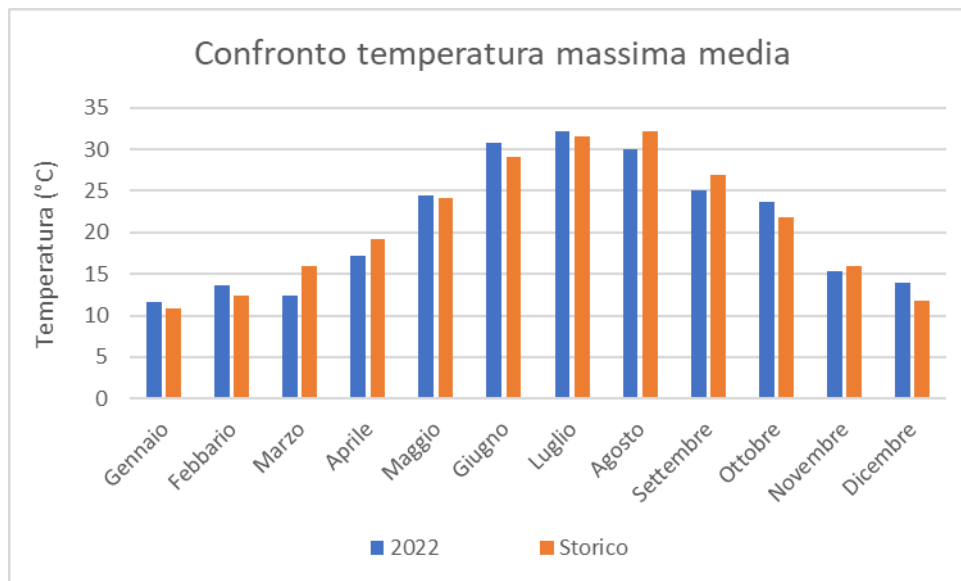


Figura 3-20 Confronto temperatura massima media (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

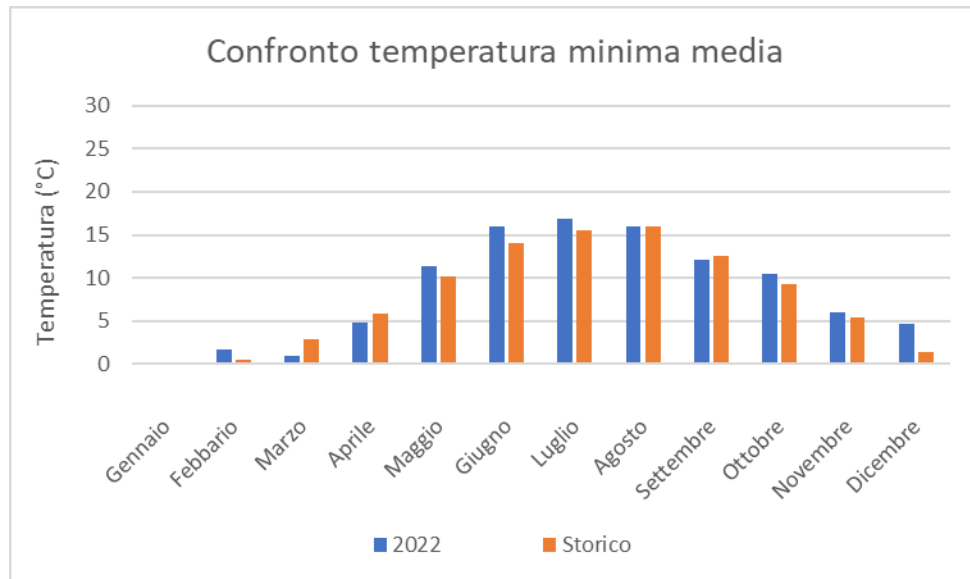


Figura 3-21 Confronto temperatura minima media (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Regime anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi al vento è possibile identificarne sia la direzione sia l'entità espressa in m/s.

Tale analisi, precedentemente effettuata per le tre decadi, è stata ripetuta per l'anno di riferimento in modo tale da poter effettuare un confronto.

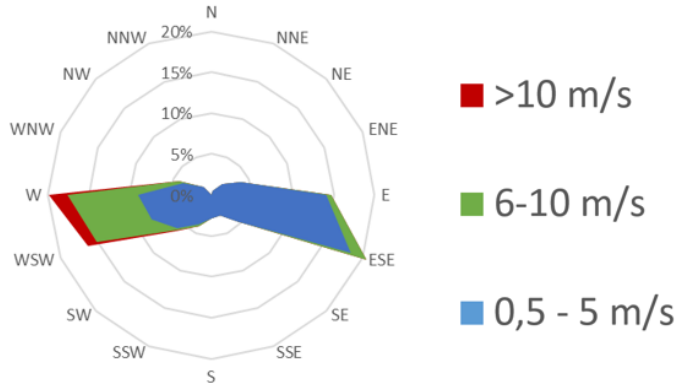
Dalle figure seguenti si può effettuare il confronto tra i dati anemometrici delle tre decadi con i dati relativi all'anno di riferimento, suddivisi per stagioni. In coerenza a quanto visto per il dato storico, la prima stagione analizzata è la stagione invernale.



Figura 3-22 Confronto dati anemometrici stagione invernale (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Dal confronto risulta come la direzione principale dei venti sia Est e 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.

Rosa dei venti - Primavera 2022



Rosa dei venti - Storico primavera

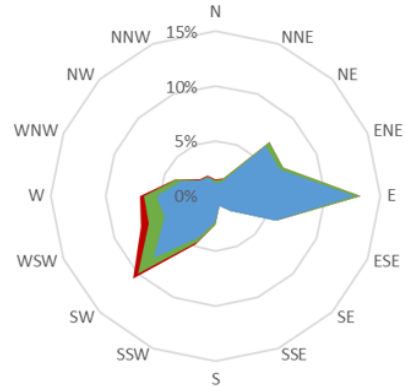
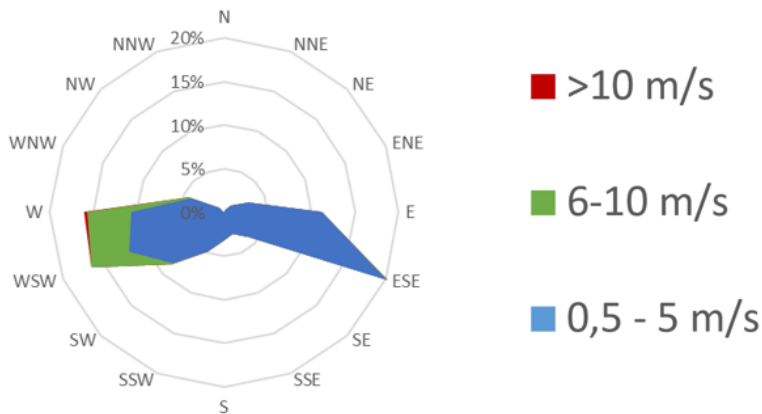


Figura 3-23 Confronto dati anemometrici stagione primaverile (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Rosa dei venti - Estate 2022



Rosa dei venti - Storico estate

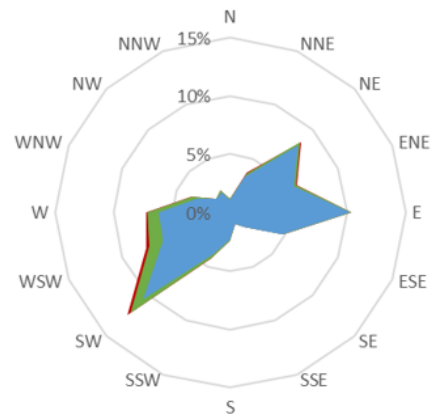
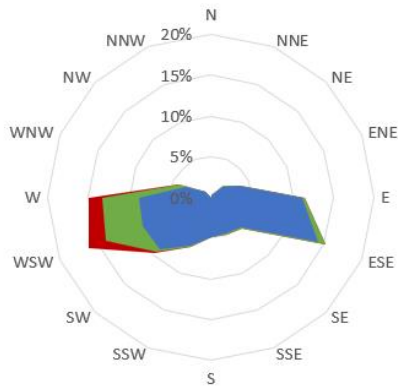


Figura 3-24 Confronto dati anemometrici stagione estiva (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

Rosa dei venti - Autunno 2022



Rosa dei venti - Storico autunno

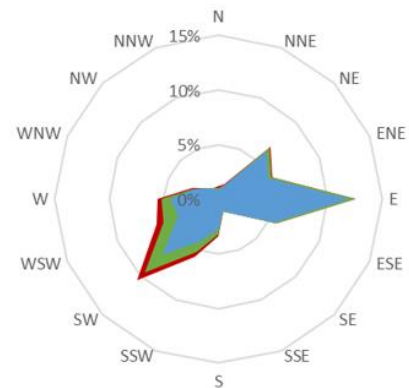


Figura 3-25 Confronto dati anemometrici stagione autunnale (Fonte: Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico)

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 2022 con i dati provenienti registrati dalle centraline meteorologiche di riferimento per il periodo 1990-2020. Pertanto, può essere considerato attendibile l’intervallo di analisi per l’anno 2022.

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 (NOx), il particolato (PM10 e PM2,5) 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

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020										
Emissioni di NOx [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
Combustione impianti 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
Solventi e altri usi del prodotto	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	61,7	64,1	63,3	59,6	49,5	49,9	51,6	49,5	48,9	55,0
TOTALE	2124,5	1988,6	1504,1	1288,9	934,7	715,7	658,4	658,9	639,3	570,6

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

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020										
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
Combustione impianti 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

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020										
Emissioni di PM10 [Gg]:										
Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020
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
Solvente ed altri usi del prodotto	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)

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020										
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
Combustione impianti non industriale	66,9	70,6	67,9	67,9	121,8	105,6	111,7	94,0	92,8	88,8
Combustione industriale	19,9	18,3	14,0	13,6	9,8	6,3	6,4	6,5	6,1	5,6
Processi produttivi	14,2	13,6	11,5	12,1	9,7	6,9	6,3	6,4	6,3	5,6
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Solventi ed altri usi del prodotto	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 PM2,5 (Fonte: INEA 2022 - ISPRA)

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020										
Emissioni di CO [Gg]:										
Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2020										
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
Combustione impianti 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
Solvente ed altri usi del prodotto	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
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

Inventario delle Sorgenti Emissive (Anno di Riferimento 2016)

La valutazione del quadro emissivo a livello regionale è stata svolta prendendo come riferimento l'inventario delle sorgenti emmissive. L'ultimo aggiornamento dell'inventario, risalente al 2019, contiene il quadro emissivo per ciascun macrosettore, dei principali inquinanti il cui ultimo aggiornamento, pubblicato nel 2019, ha come intervallo temporale di riferimento l'anno 2016.

Per identificare le diverse tipologie di sorgenti di emissione in modo univoco e confrontabile con gli inventari realizzati dalle altre regioni, sono state utilizzate la classificazione e la nomenclatura SNAP 97, definite nell'ambito del progetto CORINAIR. Nello specifico, la nomenclatura SNAP 97 definisce le sorgenti emmissive in 11 macrosettori, così definiti:

- Macrosettore 1: Combustione – Energia e industria di trasformazioni;
- Macrosettore 2: Combustione – Non industriale;
- Macrosettore 3: Combustione – Industria;
- Macrosettore 4: Processi produttivi;
- Macrosettore 5: Estrazione, distribuzione combustibili fossili geotermico;
- Macrosettore 6: Uso di solventi;
- Macrosettore 7: Trasporti stradali;
- Macrosettore 8: Altre sorgenti mobili;
- Macrosettore 9: Trattamento e smaltimento rifiuti;
- Macrosettore 10: Agricoltura;
- Macrosettore 11: Altre sorgenti di emissione ed assorbenti.

Dall'analisi delle risultanze riportate nell'Inventario, a livello regionale si evince che:

- per le emissioni di ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO) e particolato inferiore ai 2,5µm (PM_{2,5}) queste sono principalmente dovute al macrosettore «Trasporto su strada», responsabile rispettivamente del 50%, 78% e 72% delle emissioni.
- per il PM₁₀, la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore “Combustione non industriale”, responsabile di circa il 62% delle emissioni.

Di seguito vengono riportati in forma tabellare i valori di emissione della Regione Marche, suddivisi per macrosettori.

Macrosettore	CO (Mg/anno)	Nox (Mg/anno)	PM10 (Mg/anno)	PM2.5 (Mg/anno)
Processi energetici	68,1	135,1	8,1	0,0
Combustione non industriale	22291,2	2248,4	3498,1	0,0
Combustione industriale e altri processi	177,9	948,8	42,3	35,0
Processi produttivi	553,2	2256,9	524,1	0,0
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	16,2	206,1	7,8	0,0
Uso di solventi	0,0	0,0	400,1	0,0
Trasporto su strada	82871,0	10939,0	643,9	482,5
Altre sorgenti mobile e macchinari	866,8	4733,8	164,1	151,0
Treatmento e smaltimento rifiuti	0,0	0,0	0,0	0,0
Agricoltura	0,0	153,1	0,0	0,0
Totale	106844,3	21621,1	5288,5	668,5

Tabella 4-5 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Regione Marche per l'anno 2016 (Fonte: elaborazione dati Inventario delle Sorgenti emissive, 2019)

Sempre in riferimento all'Inventario Regionale delle emissioni, è stato possibile effettuare l'analisi emissiva a livello provinciale, con specifico riferimento alle province di Fermo e Ascoli Piceno. Per quanto riguarda la provincia di Fermo (cfr., Tabella 4-6) si evince che:

- Per il monossido di carbonio (CO) le principali fonti emissive risultano appartenere al macrosettore “Combustione non industriale” e “Trasporto su strada”, responsabili rispettivamente del 48% e 49% delle emissioni;
- Per gli ossidi di azoto (NO_x), e PM_{2.5} la principale fonte emissiva è rappresentata dal “Trasporto su strada”, responsabile rispettivamente del 60% e del 74% delle emissioni;
- Per il PM₁₀ la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore “Combustione non industriale”, responsabile del 67% delle emissioni.

Macrosettore	CO (Mg/anno)	Nox (Mg/anno)	PM10 (Mg/anno)	PM2.5 (Mg/anno)
Processi energetici	9,7	24,8	3,3	0,0
Combustione non industriale	2481,2	223,3	390,8	0,0
Combustione industriale e altri processi	13,1	63,4	0,9	0,9
Processi produttivi	0,0	51,3	68,4	0,0
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso di solventi	0,0	0,0	45,4	0,0
Trasporto su strada	2567,0	970,3	55,1	41,2
Altre sorgenti mobile e macchinari	78,2	247,0	13,2	13,1
Treatmento e smaltimento rifiuti	0,0	0,0	0,0	0,0

Agricoltura	0,0	13,6	0,0	0,0
Totale	5149,1	1593,7	577,1	55,2

Tabella 4-6 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Provincia di Fermo per l'anno 2016 (Fonte: elaborazione dati Inventario delle Sorgenti emmissive, 2019)

Sempre in riferimento all'Inventario Regionale delle emissioni, è stato possibile effettuare l'analisi emissiva a livello provinciale, con specifico riferimento alle province di Fermo e Ascoli Piceno. Per quanto riguarda la provincia di Fermo (cfr., Tabella 4-6) si evince che:

- Per il monossido di carbonio (CO) le principali fonti emmissive risultano appartenere al macrosettore "Combustione non industriale" e "Trasporto su strada", responsabili rispettivamente del 48% e 49% delle emissioni;
- Per gli ossidi di azoto (NO_x), e PM_{2.5} la principale fonte emissiva è rappresentata dal "Trasporto su strada", responsabile rispettivamente del 60% e del 74% delle emissioni;
- Per il PM₁₀ la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore "Combustione non industriale", responsabile del 67% delle emissioni.

Analoghe considerazioni possono essere fatte a livello emissivo per la provincia di Ascoli Piceno, per la quale si riporta nella Tabella sottostante il conto emissivo riferito ad ogni inquinante per ciascun macrosettore.

Macrosettore	CO (Mg/anno)	Nox (Mg/anno)	PM10 (Mg/anno)	PM2.5 (Mg/anno)
Processi energetici	5,7	13,4	1,4	0,0
Combustione non industriale	2993,6	281,6	470,9	0,0
Combustione industriale e altri processi	15,5	78,3	2,1	1,9
Processi produttivi	0,0	27,6	34,6	0,0
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso di solventi	0,0	0,0	45,4	0,0
Trasporto su strada	1240,6	1501,0	92,5	68,3
Altre sorgenti mobile e macchinari	79,0	258,0	13,4	13,2
Treatmento e smaltimento rifiuti	0,0	0,0	0,0	0,0
Agricoltura	0,0	5,9	0,0	0,0
Totale	4334,4	2165,8	660,3	83,4

Tabella 4-7 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Provincia di Ascoli Piceno per l'anno 2016 (Fonte: elaborazione dati Inventario delle Sorgenti emmissive, 2019)

5. ANALISI DELLO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

5.1. LA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

Il D.Lgs. 4 agosto 1999, n. 351, recepimento della direttiva 1996/62/CE in materia di valutazione e gestione preliminare della qualità dell'aria-ambiente, definisce le strategie complessive e le scadenze temporali per il raggiungimento degli obiettivi di qualità dell'aria. Ossidi e biossido di azoto.

Tramite tale decreto, dunque, la Regione Marche ha approvato il "Piano di Risanamento e Mantenimento della Qualità dell'Aria Ambiente".

La Regione Marche ha inoltre approvato, sulla base di quanto disposto dal D.Lgs. 155/2010 il quale prevede che l'intero territorio nazionale sia suddiviso in zone e agglomerati da classificare ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente. Alla zonizzazione provvedono le Regioni e le Province autonome sulla base dei criteri indicati nello stesso decreto., il progetto di zonizzazione e classificazione del territorio regionale ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente con Delibera consiliare n.116 del 9 dicembre 2014.

In particolare, il territorio marchigiano è stato suddiviso in due zone, di seguito riportate:

- Zona Costiera e valliva (IT1110), sottoposta ad un notevole carico emissivo, caratterizzati principalmente dalla presenza di sorgenti emmissive per lo più di tipo industriale e stradale;
- Zona collinare e montana (IT1111), a cui appartengono tutti i comuni non appartenenti alla precedente zona.

Tale zonizzazione ha validità per tutti gli inquinanti oggetto di monitoraggio (polveri sottili PM₁₀ e PM_{2,5}, ossidi di azoto, piombo, monossido di carbonio, ossidi di zolfo, benzene, benzo(a)pirene e metalli), ad eccezione dell'ozono che, per la sua natura esclusivamente secondaria, è di fatto completamente indipendente dal criterio relativo alle fonti emmissive locali.

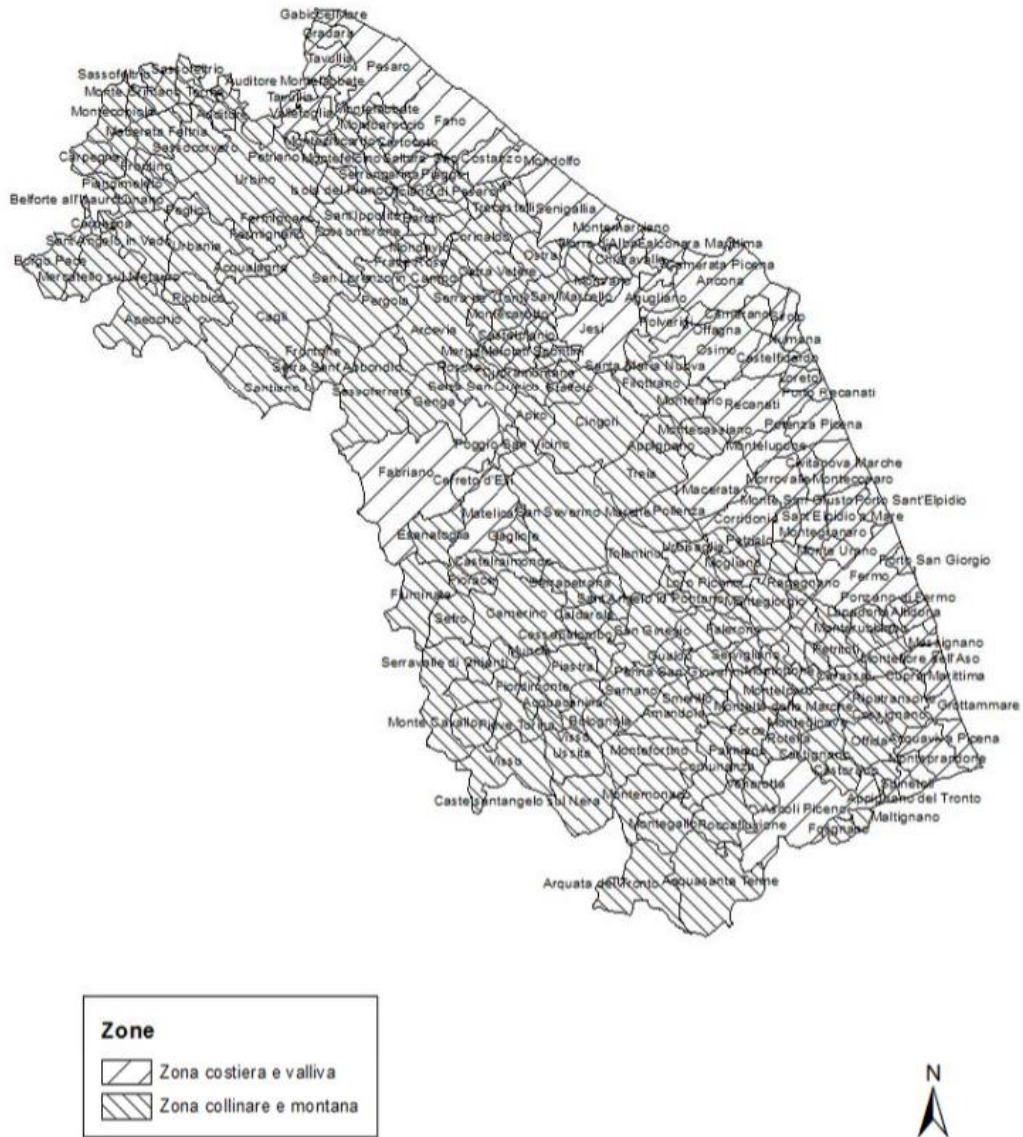


Figura 5-1 Regione Marche, zonizzazione del territorio (Fonte: Regione Marche)

Nello specifico, l'intervento oggetto del presente Studio di Impatto Ambientale, localizzato nei comuni di Sarnano e Amandola, ricado all'interno della "Zona collinare e montana".

5.2. LA RETE DI MONITORAGGIO E LA CENTRALINA DI RIFERIMENTO

La Regione Marche ha individuato una rete di stazioni di monitoraggio in siti fissi dei principali atmosferici individuati dal D.Lgs.155/2010. Le stazioni di monitoraggio sono state acquisite in comodato d'uso dalla Regione e sono gestite da ARPA Marche e sono rappresentative dell'esposizione media della popolazione conformemente a quanto stabilito dalla normativa vigente. La rete di monitoraggio atmosferico regionale, individuata con D:G:R:2013, è composta da 17 stazioni fisse per il monitoraggio, di seguito riportate.

Nome zona	Nome stazione	Tipo stazione Eol	Tipo zona Eol
Zona Costiera	Pesaro Via Scarpellini	B	S
	Fano Via Montegrappa	T	U
	Senigallia	B	U
	Jesi	T	U
	Chiaravalle/2	B	S
	Falconara Scuola	I	S
	Ancona Cittadella	B	U
	Macerata Collevario	B	U
	Civitanova Marche Ippodromo S. Marone	B	R
	Fermo (nuova stazione)	B	U
	San Benedetto del Tronto	T	U
	Ascoli Piceno Monticelli	B	U
Zona Collinare e Montana	Urbino (nuova stazione)	B	U
	Genga	B	R
	Montemonaco	B	RNCA
	Nuova stazione da individuare	T	R
Conca Fabrianese	Fabiano	B	U

Figura 5-2 Schema di rete generale di misura della qualità dell'aria ambiente ai fini e ai sensi del D.Lgs. 155/2010

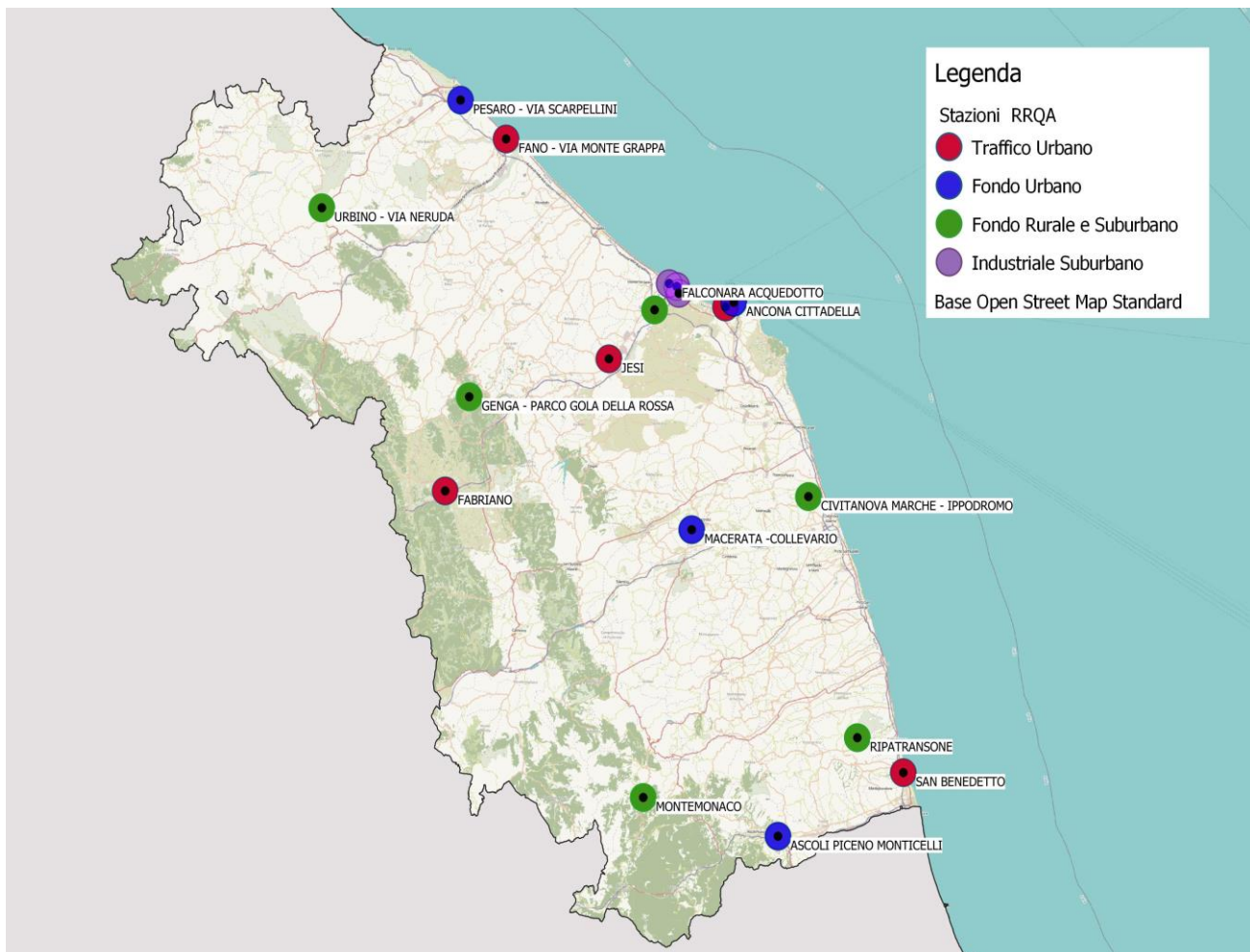


Figura 5-3 Regione Marche, localizzazione delle centraline per il monitoraggio atmosferico (Fonte: ARPA Marche)

Relativamente all'area di studio del presente SIA, a valle di una prima analisi delle centraline presenti in prossimità dell'area di intervento, è stata scelta come stazione di riferimento quella più vicina e significativa in termini di tipologia e che, al contempo, monitorasse tutti gli inquinanti considerati nella presente analisi. Nello specifico, è stata presa in considerazione la stazione di Montemonaco, classificata come stazione di Fondo Rurale e Suburbano e distante circa 10km dall'area di intervento (cfr. Figura 5-4).



Figura 5-4 Localizzazione della centralina per il rilevamento atmosferico di Monteromano rispetto all'area di intervento (Fonte: ARPA Marche)

5.3. OSSIDI E BISSIDO 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 NOx 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 alchilnitriti. 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 orari di concentrazione registrati dalla centralina di Montemonaco è stato possibile analizzare l'evoluzione negli anni dell'inquinante NO_x; in particolare è stato preso in considerazione un intervallo temporale di 6 anni, dal 2017 al 2022. In particolare, sono stata analizzate per tale inquinante i valori di concentrazione media annua registrate dalla centralina di riferimento i cui risultati sono riportati per via grafica in Figura 5-5.

Effettuando un'analisi storica di tali valori si può notare come negli anni la concentrazione media di tale inquinante registrata abbia subito un incremento, passando dai 7,65 µg/m³ del 2017 ai 19,50 µg/m³ del 2022. Cionostante, i valori registrati risultano sempre al di sotto del limite normativo, pari a 30 µg/m³.

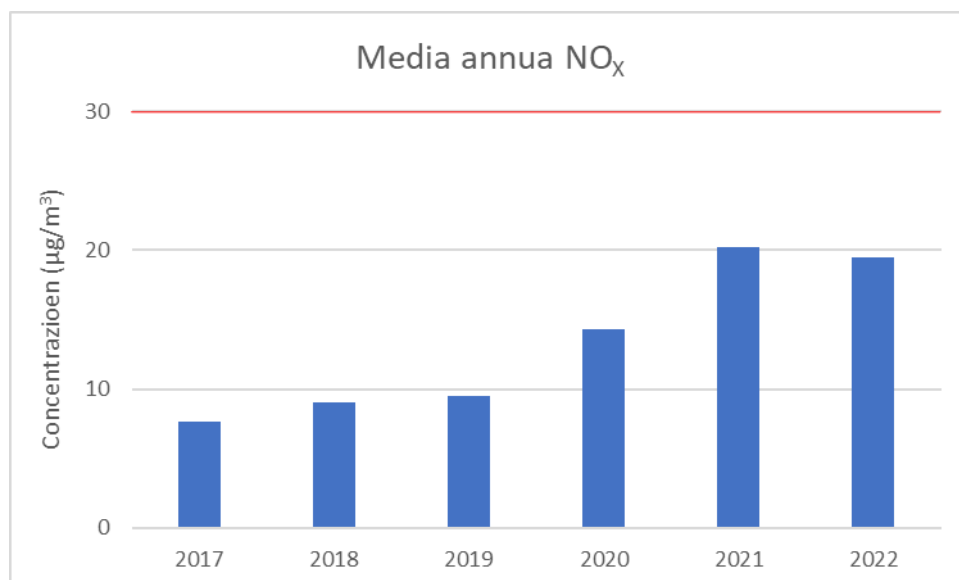


Figura 5-5 Concentrazioni medie annue di NOx (µg/m³) (Fonte: elaborazione dati ARPA Marche)

Concentrazioni di NO₂

I soli NOx, 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. Sono stati riassunti, mediante un'analisi dei percentili i dati orari registrati dalla centralina di Montemonaco per il Biossido di Azoto nei 6 anni di riferimento.

In analogia a quanto visto per gli NOx, anche per quanto riguarda il biossido di azoto si registra un incremento nei valori di concentrazione media annua dal 2017, anno in cui tale valore risulta pari a 3,99 µg/m³, al 2022, con un valore di concentrazione media annua di 10,92 µg/m³ (cfr. Figura 5-6). Anche per tale inquinante, nonostante la tendenza appena descritta per l'NO₂, i valori di concentrazione media annua risultano inferiori al rispettivo limite normativo di 40 µg/m³.

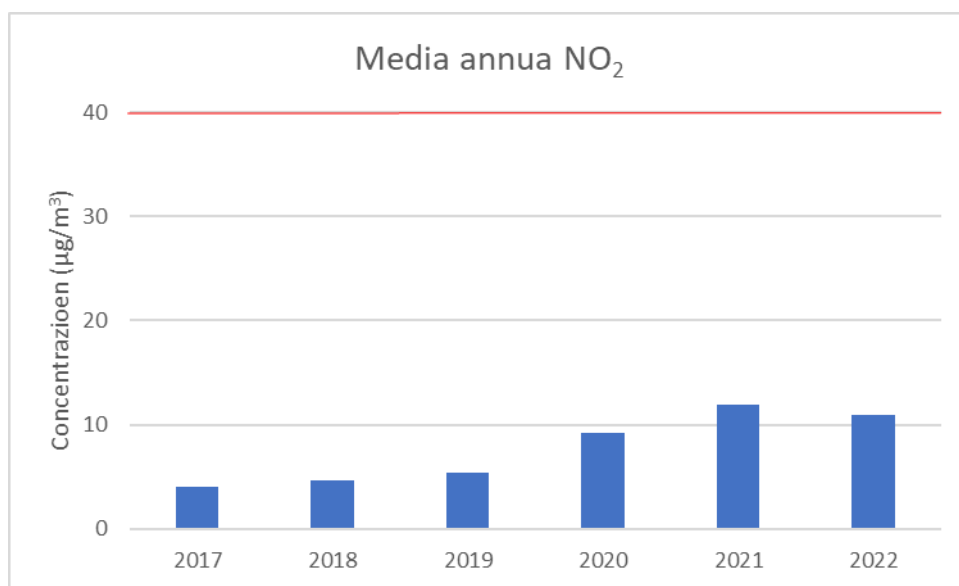


Figura 5-6 Concentrazioni medie annue di NO₂ (µg/m³) (Fonte: elaborazione dati ARPA Marche)

Non si registrano, ad ogni modo, superamenti sulle concentrazioni medie orarie di biossido di azoto, il cui limite normativo risulta pari a 200 µg/m³.

Relazione NOx – NO₂

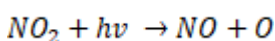
Il dato di partenza delle analisi è relativo agli ossidi di azoto NOx. Con tale termine generalmente vengono indicate le due componenti più importanti, ovvero l'ossido di azoto NO ed il biossido di azoto NO₂.

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.

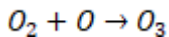
L'insieme di reazioni chimiche che intervengono nella trasformazione di NO in NO₂ è detto ciclo fotolitico.

Tale ciclo può essere schematizzato dalle seguenti reazioni.

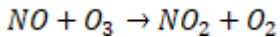
L'NO₂ prodotto nelle ore diurne assorbe energia dalle radiazioni UV, scindendosi in una molecola di NO ed in atomi di ossigeno reattivi



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.

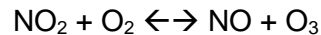
Per stimare tali valori esistono alcune leggi di correlazione empirica che permettono di valutare la quota parte di ossidi di azoto che si trasforma in biossido di azoto. Un esempio di valutazione è il metodo "Derwent and Middleton" 1996¹ il quale deriva da una stima di tipo empirico basata sul rapporto NO_x-NO₂ ricavato da numerose misure sperimentali nell'area di Londra.

Un altro metodo è quello sviluppato da "Düring et al." nel 2011², anch'esso derivante da studi sperimentali di correlazione effettuati in Germania.

Da ulteriori fonti bibliografiche, "ARPA Emilia Romagna" ³, 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)⁴ ha valutato il rapporto NO₂/NO_x relazionandolo all'ozono, O₃.

Werner Scholz e Peter Rabl, 2006⁵ 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:

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

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 dalle centraline della rete di monitoraggio della qualità dell'aria di riferimento, esposti precedentemente.

Tale analisi ha mostrato un andamento parabolico della relazione tra NO₂/NO_x.

Infatti, dalla nuvola di punti, Figura 5-7, è stato possibile determinare una legge di regressione tra NO_x e NO₂.

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

2 Düring I, Bächlin W, Ketzler 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

3 Arpa Emilia-Romagna

4 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

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

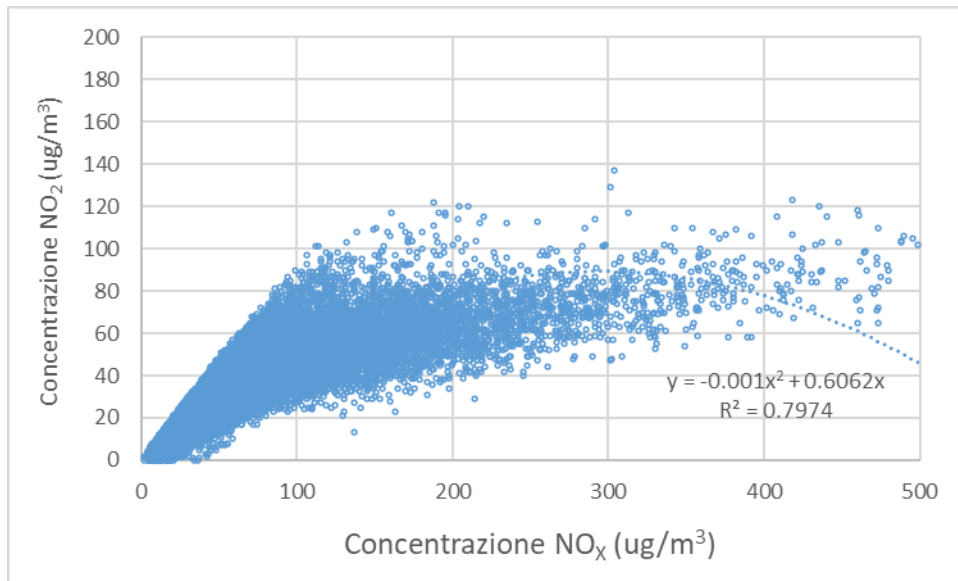


Figura 5-7 Nuvola di punti concentrazioni NOx - NO₂ valori orari (µg/m³) (Fonte: elaborazione dati ARPA Marche)

Considerando la concavità verso il basso della curva di tendenza si può notare come superati i 91,86 µg/m³, all'aumentare degli NOx, si ottiene una diminuzione degli NO₂. Questo per valori molto elevati di NOx potrebbe diventare poco cautelativo.

Tuttavia, utilizzando le equazioni sopracitate, così come definito da Arpa Emilia-Romagna, attraverso una relazione lineare con coefficiente angolare pari a 0.1, si ottiene una relazione tra NO₂/NOx pari al 10%, che fornisce valori cautelativi unicamente per valori di NOx molto elevati.

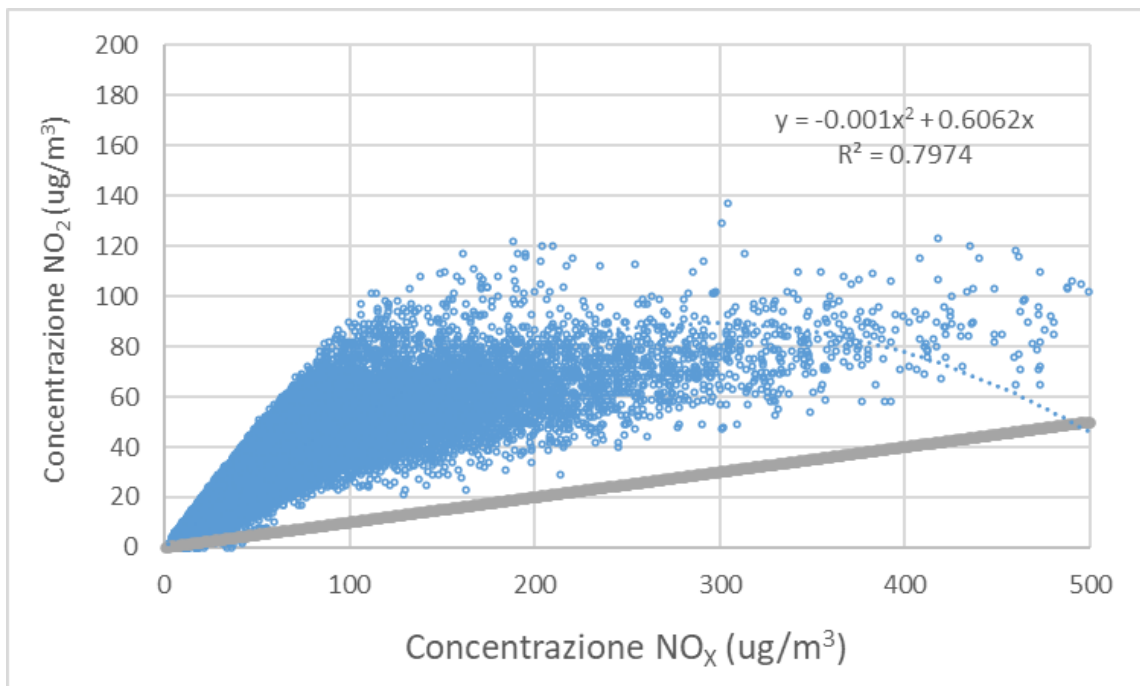


Figura 5-8 Confronto curve di correlazione NO₂-NOx (µg/m³) (Fonte: elaborazione dati ARPA Marche)

Confrontando le due curve si può notare come la retta di regressione lineare sia situata sempre al disotto della retta di regressione parabolica. Quindi si otterrebbe una sottostima della percentuale di NO₂ negli NO_x. (cfr. Figura 5-9). Per cui, è stato considerato cautelativo utilizzare entrambe le curve correlandole a range differenti di Ossido di Azoto, tenendo anche presente l'affidabilità dalla relazione parabolica, il cui coefficienti di determinazione è R²=0,79. Tale relazione è stata utilizzata fino al punto in cui la parabola decresce, quindi nell'intervallo 0-303,1 µg/m³ di Ossidi di Azoto. La relazione lineare inizia, invece, il suo intervallo di validità da 303,1 µg/m³ per cui da quel valore di NO_x si considera la retta traslata verso l'alto.

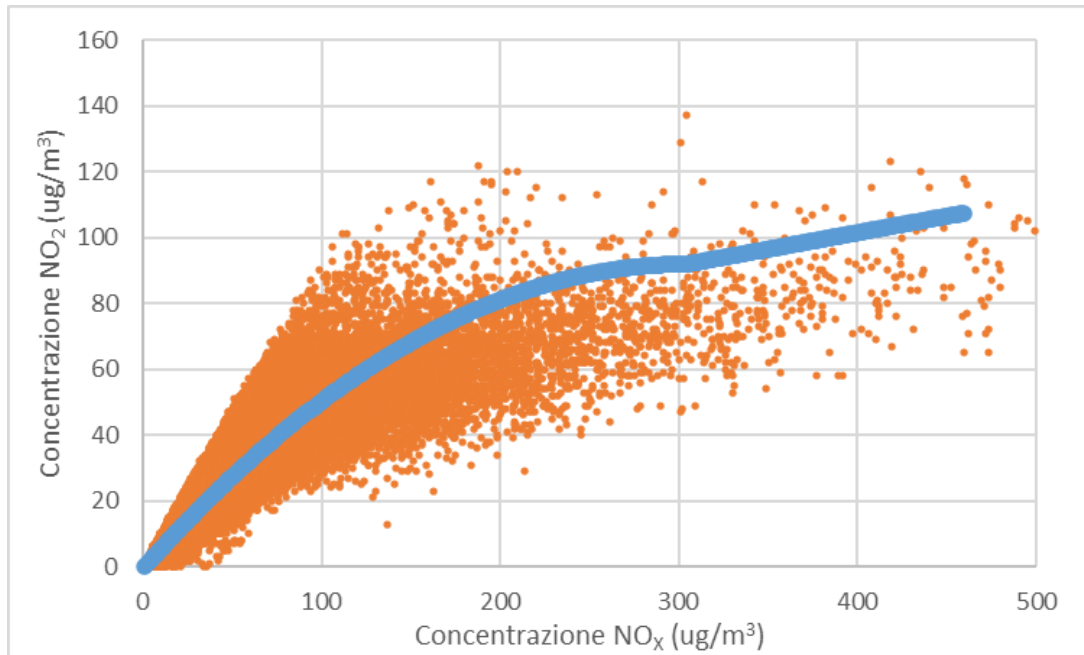


Figura 5-9 Combinazione delle curve di regressione considerate (µg/m³)

La formulazione considerata con riferimento ai valori orari pertanto sarà la seguente:

$$\begin{cases} NO_2 = -0,001NO_x^2 + 0,6062NO_x & \text{per } NO_x \leq 303,1\mu\text{g}/\text{m}^3 \\ NO_2 = 0,1NO_x + 61,55 & \text{per } NO_x > 303,1\mu\text{g}/\text{m}^3 \end{cases}$$

5.4. 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 PM2.5 che rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 2,5 micron. Le PM2.5 sono anche dette polveri respirabili perché possono penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari).

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

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

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

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

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

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

Le polveri (ad esempio quelle emesse dai cementifici) possono depositarsi sulle foglie delle piante e formare così una patina opaca che, 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 Montemonaco nello stesso arco di riferimento delle analisi effettuate per gli ossidi di azoto, ossia dal 2017 al 2022. Tali dati hanno permesso di comprendere l'evoluzione, in questo arco temporale, dell'inquinante.

In merito al particolato grossolano è stata analizzata l'evoluzione dei valori di tale inquinante in termini di concentrazione media annua e concentrazione media giornaliera. Come si può osservare in Si può notare come il limite giornaliero, pari a 50 µg/m³, nel 2021 è stato superato un numero di giorni inferiore al numero massimo consentito, pari a 35.

La sintesi di questi dati, attraverso i grafici di seguito riportati, permette una lettura più chiara dell'andamento nel tempo del PM10. In Figura 5-10 si può osservare che il valore medio annuo ha subito un incremento dal 2017 al 2022, passando dagli 8,82 µg/m³ ai 14,20 µg/m³. Tali valori risultano comunque essere inferiori al limite normativo di 40 µg/m³.

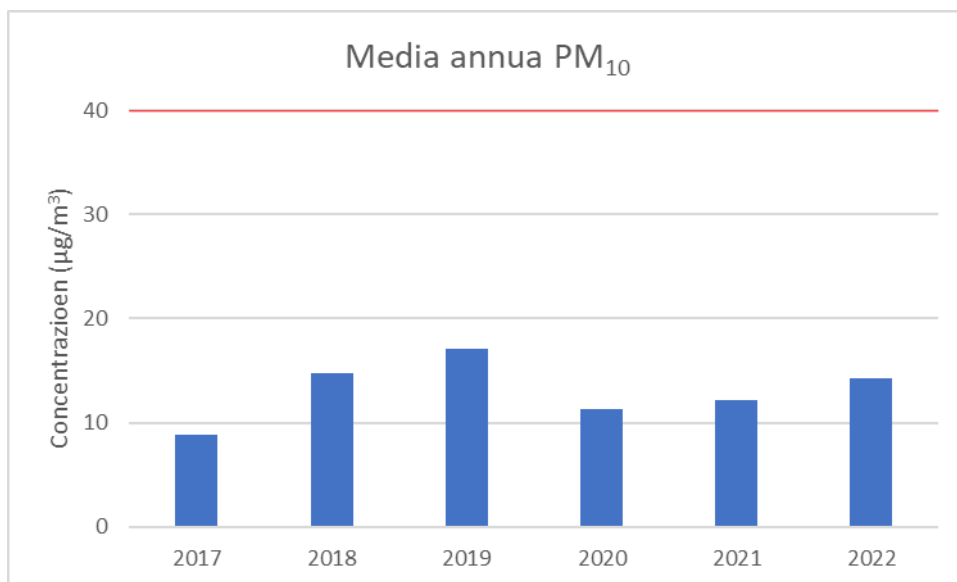


Figura 5-10 Concentrazioni medie annue di PM10 (µg/m³) (Fonte: elaborazione dati ARPA Marche)

Per quanto riguarda invece le medie giornaliere, il cui limite normativo è di 50 µg/m³, si registrano superamenti per tutte le annualità di analisi. Nello specifico, come si può osservare in Figura 5-11, emerge come il numero di superamenti registrati per il 2022 risulti essere pari a 2, di gran lunga inferiore al numero massimo ammissibile, pari a 35 superamenti.

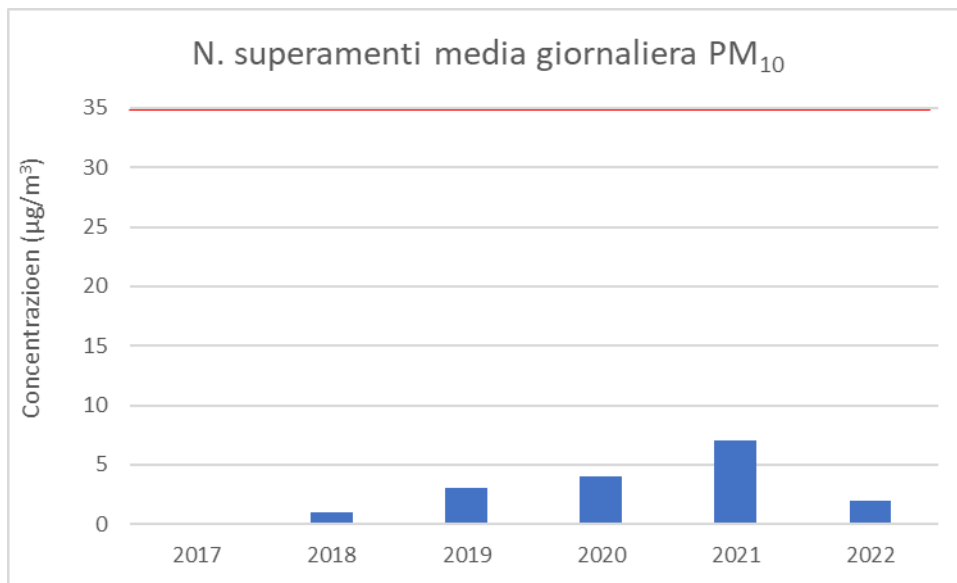


Figura 5-11 Numero di superamenti di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) anni 2016-2022 Centralina di Montemonaco (Fonte: elaborazione dati ARPA Marche)

5.5. 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 annuali per il periodo di riferimento, tramite i dati messi a disposizione dalla centralina di Montemonaco.

Anno	Media annua
2017	0,34
2018	0,29
2019	0,30
2020	0,32
2021	0,36
2022	0,41

Tabella 5-1 Analisi della media annua del Benzene calcolata negli anni 2017-2022 per la centralina di Montemonaco (fonte: elaborazione dati ARPA Marche)

L'analisi della Figura sottostante, 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 e raggiungendo un massimo nell'anno 2022 in cui viene registrata una concentrazione media pari a $0,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

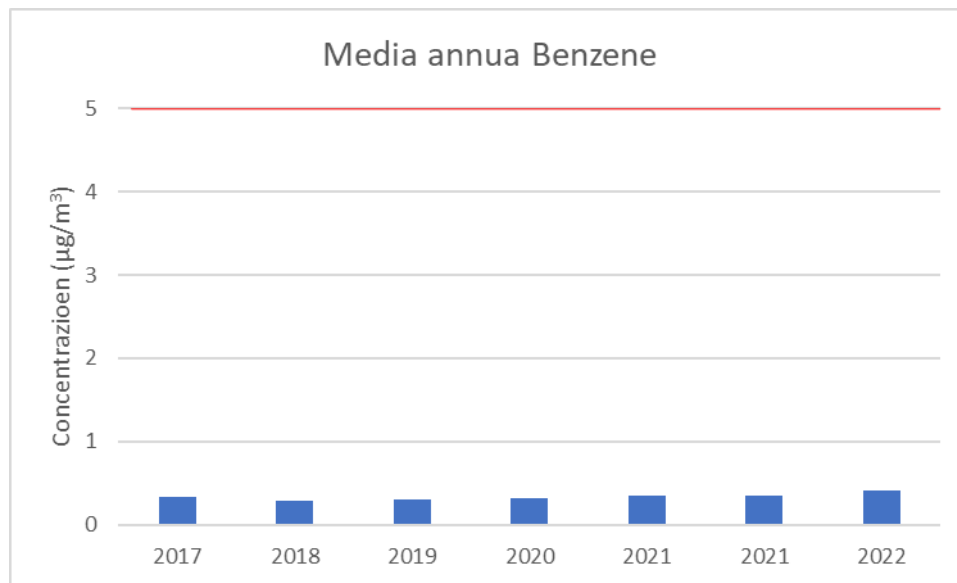


Figura 5-12 Medie annuali Benzene calcolate per gli anni 2017 – 2022 per la centralina di Montemonaco (fonte: elaborazione dati ARPA Marche)

5.6. QUADRO SINOTTICO DELL'ARIA

Nel presente paragrafo si riassumono i valori di qualità dell'aria relativi alle centraline di Montemonaco per NO_x, NO₂, PM₁₀ e Benzene

La Tabella 5-2 nello specifico mostra i valori di riferimento all'anno 2022, anno di riferimento per le simulazioni.

Centralina di riferimento	Inquinante	Valore di qualità dell'aria media annua 2021
Montemonaco (fondo rurale)	NO _x	19,50 µg/m ³
	NO ₂	10,92 µg/m ³
	PM ₁₀	14,20 µg/m ³
	PM _{2,5} ^(*)	8,52 µg/m ³
	Benzene	0,41 µg/m ³

(*) PM_{2,5} calcolato come il 60% del PM₁₀

Tabella 5-2 Valori di qualità dell'aria media annua (2022)

6. I MODELLI DI SIMULAZIONE UTILIZZATI

6.1. 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 particolato (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)⁶.

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.

6.2. 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.

⁶ Informazioni tratte dal sito <http://www.emisia.com>

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 6-1*.

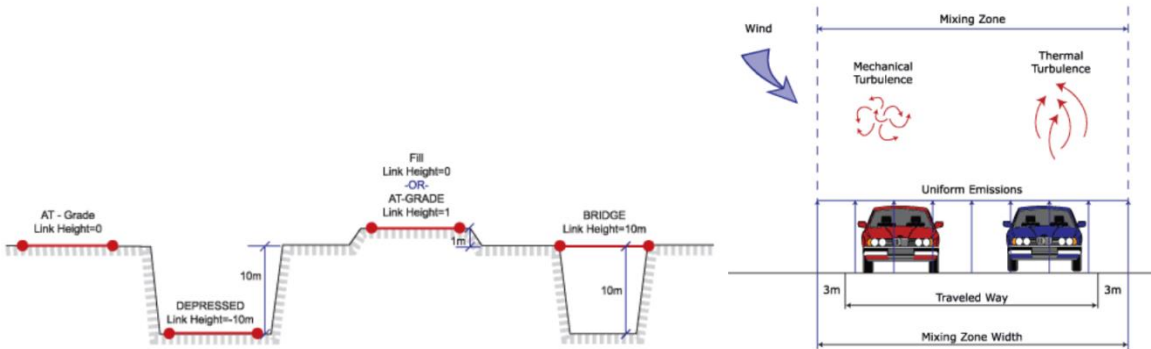


Figura 6-1 Modellazione geometrica del tracciato

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 6-2*. Per quanto riguarda la maglia, infine, occorre identificare il passo e il numero di punti nelle due dimensioni X e Y.



Figura 6-2 Esempio di ricettori a link

6.3. 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:

- Aermog;

- 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"⁷, 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.

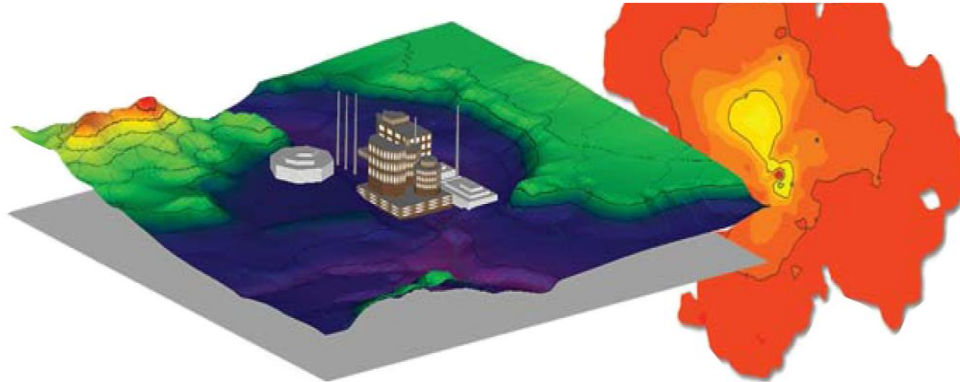


Figura 6-3 Aermod View Esempio di modellazione grafica 3D delle curve di isoconcentrazione

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 stessa⁸:

- 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 singoli, 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.

⁷ AERMOD Tech Guide – Gaussian Plume Air Dispersion Model. Version 7.6

⁸ 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.

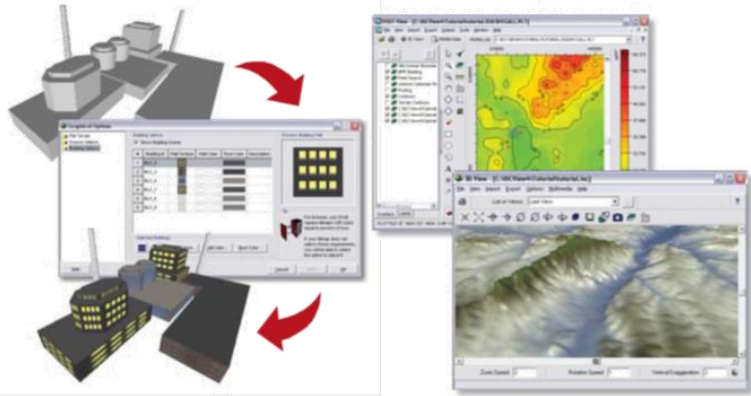


Figura 6-4 Esempio di modulo di visualizzazione 3D integrato nel modello di calcolo

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.

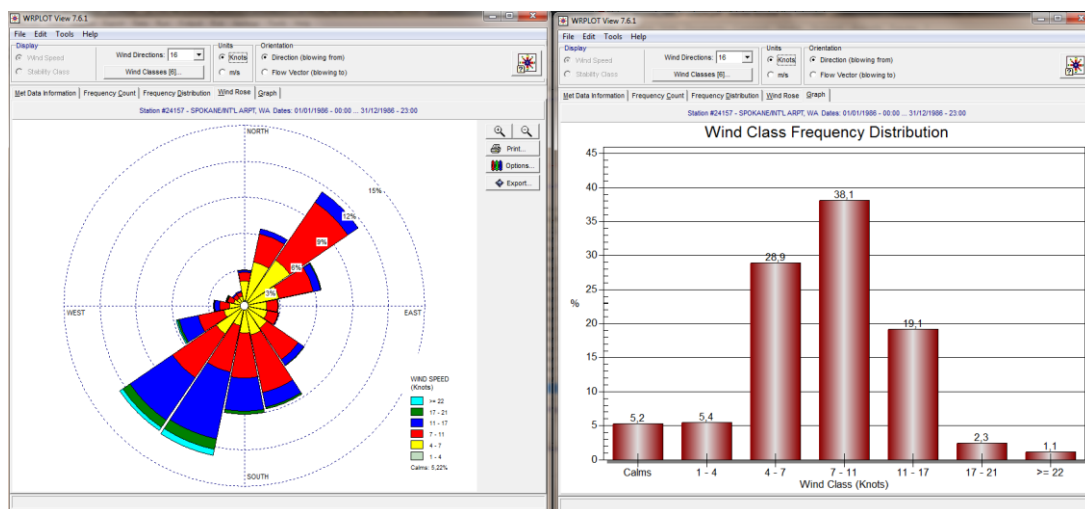


Figura 6-5 Esempio di applicazione del modulo AERMET

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.

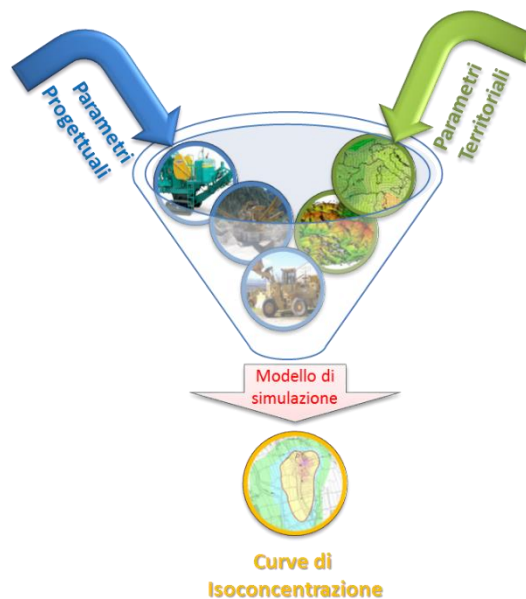


Figura 6-6 Definizione logica del modello adottato

7. LE SIMULAZIONI IN FAS EDI ESERCIZIO

7.1. 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 (NOX, NO2, C6H6, PM10e PM2,5) e quantificare le modificazioni sulla qualità dell'aria prodotte dal nuovo tracciato in esame.

Sono stati simulati due scenari:

- scenario attuale,
- scenario di progetto.

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

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

7.2. GLI INPUT DEL MODELLO DI CALCOLO

7.2.1. GLI 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 lo scenario attuale sono stati considerati i dati meteorologici misurati dalle due stazioni di rilevamento appartenenti al Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico (SIRMIP) di Bolognola e di Servigliano

7.2.2. GLI INPUT PROGETTUALI

7.2.2.1. La composizione del parco veicolare circolante

Uno degli elementi fondamentali per il calcolo delle emissioni è la caratterizzazione del parco veicolare in termini di tipologia di veicoli e di numerosità. I dati utili a tale scopo sono dati ufficiali forniti direttamente dall'Automobile Club d'Italia (ACI). Nel caso specifico si è fatto riferimento alla rappresentazione del parco veicolare italiano relativa al 2021 ("Autoritratto 2021").

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 Marche), 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.

ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	fino a 1400	48,070	8,615	33,680	35,460	71,869	35,214	64,608	297516
	1401 - 2000	12,025	4,519	8,916	4,639	9,978	3,881	6,621	50579
	Oltre 2000	2,661	637	967	757	1,481	339	691	7533
BENZINA Totale		62756	13771	43563	40856	83328	39434	71920	355628
BENZINA E GAS LIQUIDO	fino a 1400	2,968	406	1,335	1,291	16,703	10,929	25,279	58911
	1401 - 2000	3,126	1,017	1,457	879	3,918	2,271	3,573	16241
	Oltre 2000	225	55	128	124	316	32	14	894
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		6319	1478	2920	2294	20937	13232	28866	76046
BENZINA E METANO	fino a 1400	3,162	880	4,000	3,833	27,032	31,378	29,281	99566
	1401 - 2000	1,985	869	2,342	2,300	5,778	268	226	13768
	Oltre 2000	78	17	53	33	553	82		816
BENZINA E METANO Totale		5225	1766	6395	6166	33363	31728	29507	114150
GASOLIO	fino a 1400	1,072	67	91	9,468	47,032	23,871	15,234	96835
	1401 - 2000	5,265	1,773	12,148	38,002	63,487	68,276	115,223	304174
	Oltre 2000	4,211	1,619	5,429	8,836	9,673	6,906	8,880	45554
GASOLIO Totale		10548	3459	17668	56306	120192	99053	139337	446563
IBRIDO BENZINA	fino a 1400					7	100	8,523	8630
	1401 - 2000					39	548	6,718	7305
	Oltre 2000					42	16	1,049	1107
IBRIDO BENZINA Totale		0	0	0	0	88	664	16290	17042
Marche Totale		84848	20474	70546	105622	257908	184111	285920	1009429

Tabella 7-1 Suddivisione Autovetture, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Veicoli industriali leggeri distinti per regione alimentazione e tipologia. Anno 2021									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5	1094	385	663	500	481	259	414	3796
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5	289	81	53	58	275	194	443	1393
BENZINA E METANO	Fino a 3,5	212	104	197	238	1530	2100	2062	6443
GASOLIO	Fino a 3,5	11015	7037	14162	22154	20480	11883	18435	105166
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5							96	96
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5				1			332	333
Marche Totale		12610	7607	15075	22951	22766	14436	21782	117227

Tabella 7-2 Suddivisione Veicoli industriali leggeri, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Veicoli industriali pesanti distinti per regione alimentazione e tipologia. Anno 2021									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5	63		3			2		68
GASOLIO	3,6 - 7,5	2238	405	781	855	568	357	367	5571
	7,6 - 12	1561	393	668	625	296	294	281	4118
	12,1 - 14	355	53	53	46	41	55	62	665
	14,1 - 20	775	241	471	505	284	264	317	2857
	20,1 - 26	1605	445	917	1048	423	780	1147	6365
	26,1 - 28	5	1	2	1		1	37	47
	28,1 - 32	11	29	181	370	144	169	169	1073
Oltre 32	50	11	10	13	8	7	16	115	
GASOLIO Totale		6600	1578	3083	3463	1764	1927	2396	20811
Marche Totale		6663	1578	3086	3463	1764	1929	2396	20879

Tabella 7-3 Suddivisione Veicoli industriali pesanti, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Autobus distinti per regione e uso. Anno 2021								
USO	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
Noleggio	80	42	100	131	52	120	160	685
Privato	111	45	154	134	57	37	53	591
Pubblico	77	22	205	271	238	331	374	1518
Altri usi	12		8	1		5		26
Marche Totale	280	109	467	537	347	493	587	2820

Tabella 7-4 Suddivisione Autobus, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

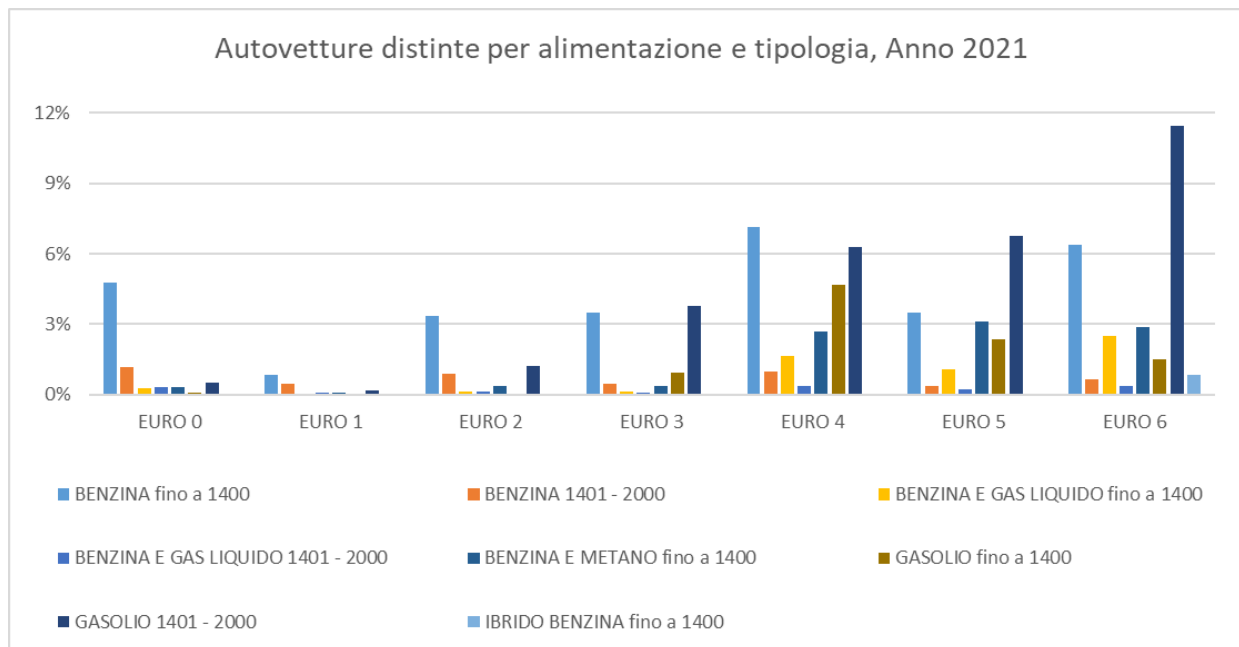


Figura 7-1 Suddivisione percentuale Autovetture, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

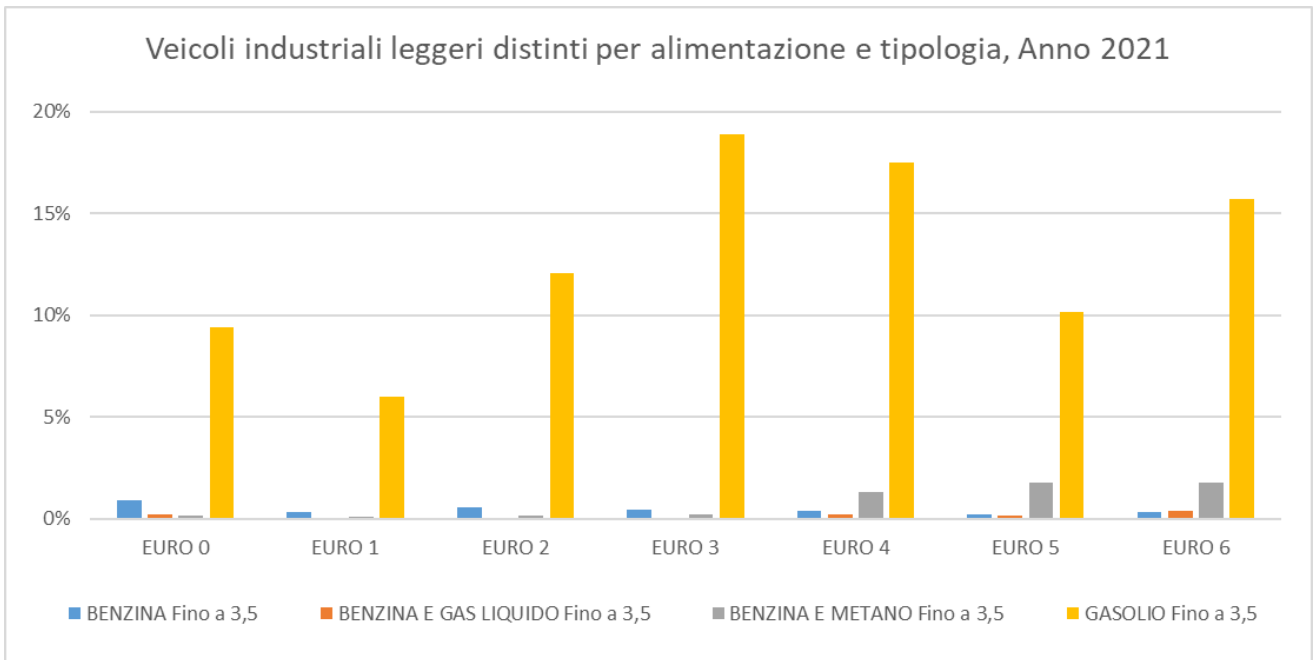


Figura 7-2 Suddivisione percentuale Veicoli industriali leggeri, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

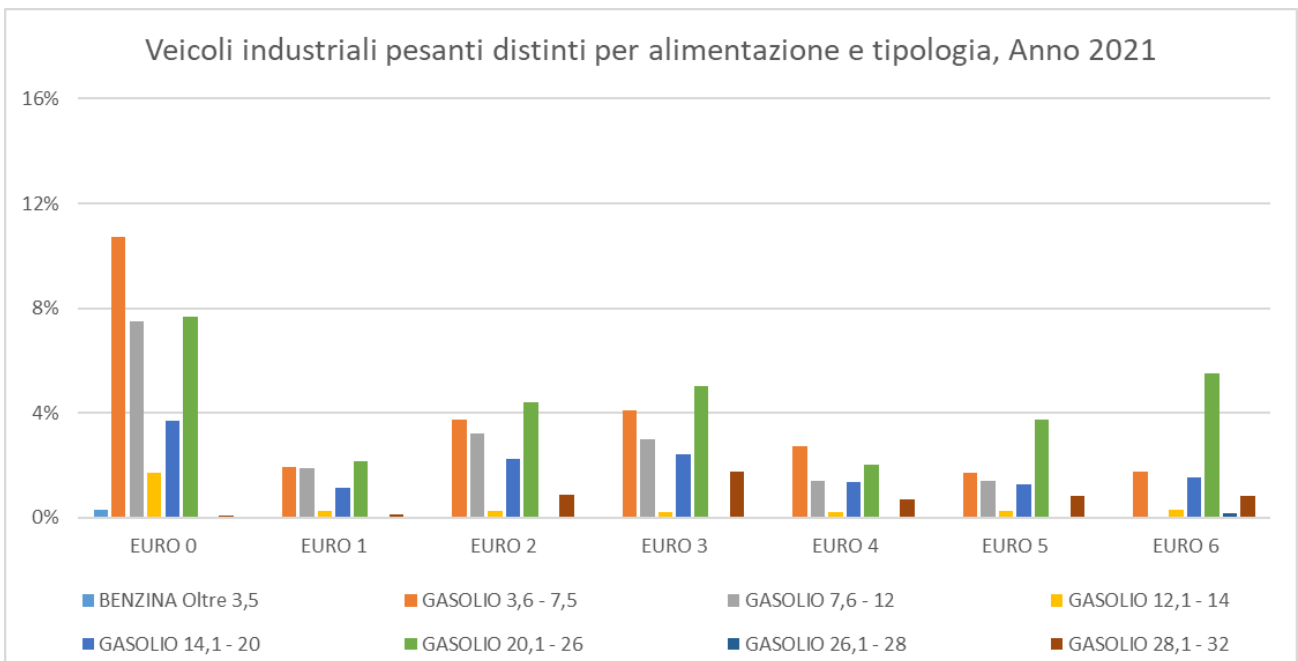


Figura 7-3 Suddivisione percentuale Veicoli industriali pesanti, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

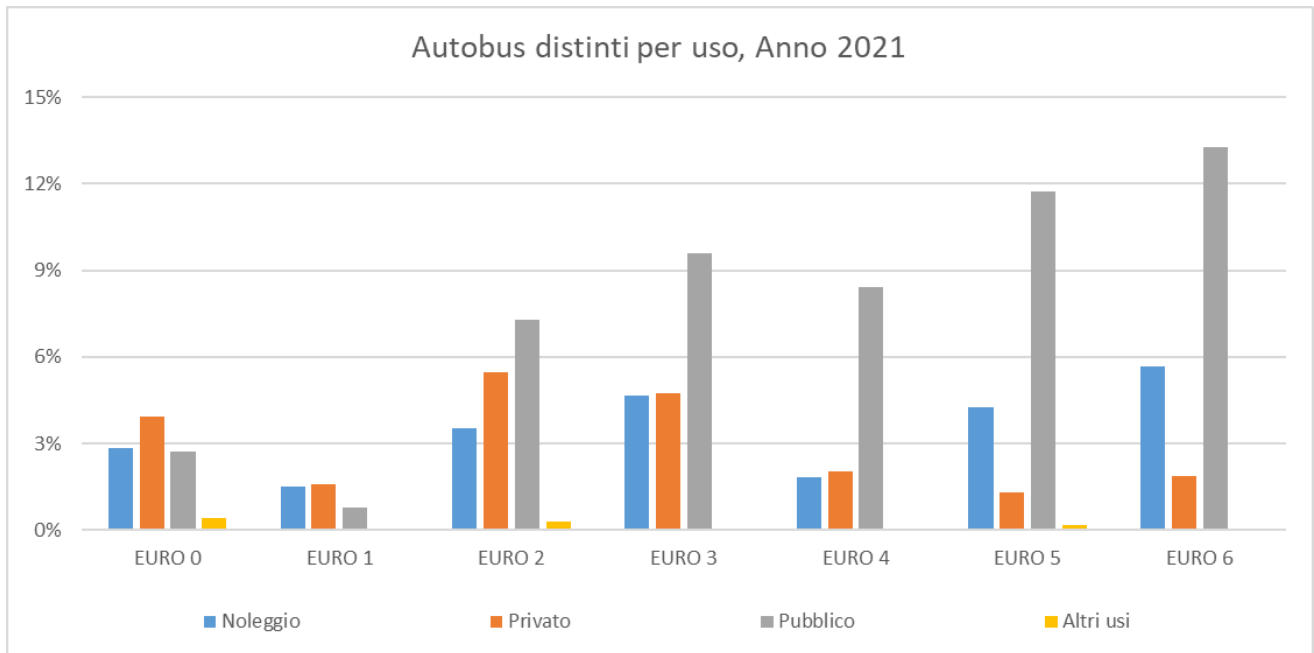


Figura 7-4 Suddivisione percentuale Autobus, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Per quanto riguarda la definizione del parco veicolare futuro, rappresentativo dell'anno di riferimento dello scenario di progetto in cui è previsto il completamento delle due tratte di riferimento, 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 la classe Euro 0 venisse sostituita, 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, una volta terminati i lavori di adeguamento del tracciato, avrebbero minimo 30 anni.

Di seguito si riporta la composizione del parco veicolare, relativo alla Regione Marche, rispetto alla composizione ipotizzata per lo scenario di progetto, sotto forma tabellare e grafica.

Autovetture distinte per regione alimentazione e fascia di cilindrata. Scenario di progetto									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	fino a 1400		8615	33680	35460	71869	35214	112678	297516
	1401 - 2000		4519	8916	4639	9978	3881	18646	50579
	Oltre 2000		637	967	757	1481	339	3352	7533
BENZINA Totale			13771	43563	40856	83328	39434	134676	355628
BENZINA E GAS LIQUIDO	fino a 1400		406	1,335	1,291	16,703	10,929	28,247	58911
	1401 - 2000		1,017	1,457	879	3,918	2,271	6,699	16241
	Oltre 2000		55	128	124	316	32	239	894
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale			1478	2920	2294	20937	13232	35185	76046
BENZINA E METANO	fino a 1400		880	4,000	3,833	27,032	31,378	32443	99566
	1401 - 2000		869	2,342	2,300	5,778	268	2211	13768
	Oltre 2000		17	53	33	553	82	78	816
BENZINA E METANO Totale			1766	6395	6166	33363	31728	34732	114150
GASOLIO	fino a 1400		67	91	9,468	47,032	23,871	16306	96835
	1401 - 2000		1,773	12,148	38,002	63,487	68,276	120488	304174
	Oltre 2000		1,619	5,429	8,836	9,673	6,906	13091	45554
GASOLIO Totale			3459	17668	56306	120192	99053	149885	446563
IBRIDO BENZINA	fino a 1400					7	100	8523	8630
	1401 - 2000					39	548	6718	7305
	Oltre 2000					42	16	1049	1107
IBRIDO BENZINA Totale			0	0	0	88	664	16290	17042
Marche Totale			20474	70546	105622	257908	184111	370768	1009429

Tabella 7-5 Suddivisione Autovetture previste per lo scenario di progetto, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Veicoli industriali leggeri distinti per regione alimentazione e tipologia. Scenario di progetto									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5		385	663	500	481	259	1508	3796
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5		81	53	58	275	194	732	1393
BENZINA E METANO	Fino a 3,5		104	197	238	1530	2100	2274	6443
GASOLIO	Fino a 3,5		7037	14162	22154	20480	11883	29450	105166
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5		0	0	0	0	0	96	96
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5		0	0	1	0	0	332	333
Marche Totale			7607	15075	22951	22766	14436	34392	117227

Tabella 7-6 Suddivisione Veicoli industriali leggeri previsti per lo scenario di progetto, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Veicoli industriali pesanti distinti per regione alimentazione e tipologia. Scenario di progetto									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5		0	3	0	0	2	63	68
GASOLIO	3,6 - 7,5		405	781	855	568	357	2605	5571
	7,6 - 12		393	668	625	296	294	1842	4118
	12,1 - 14		53	53	46	41	55	417	665
	14,1 - 20		241	471	505	284	264	1092	2857
	20,1 - 26		445	917	1048	423	780	2752	6365
	26,1 - 28		1	2	1	0	1	42	47
	28,1 - 32		29	181	370	144	169	180	1073
	Oltre 32		11	10	13	8	7	66	115
GASOLIO Totale			1578	3083	3463	1764	1927	8996	20811
Marche Totale			1578	3086	3463	1764	1929	9059	20879

Tabella 7-7 Suddivisione Veicoli industriali pesanti previsti per lo scenario di progetto, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

Autobus distinti per regione e uso. Scenario di progetto								
USO	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
Noleggio			3	13	11	30	240	297
Privato			8	3	2	6	164	183
Pubblico			11	11	6	63	451	542
Altri usi				1			12	13
Marche Totale		0	22	28	19	99	867	1035

Tabella 7-8 Suddivisione Autobus previsti per lo scenario di progetto, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

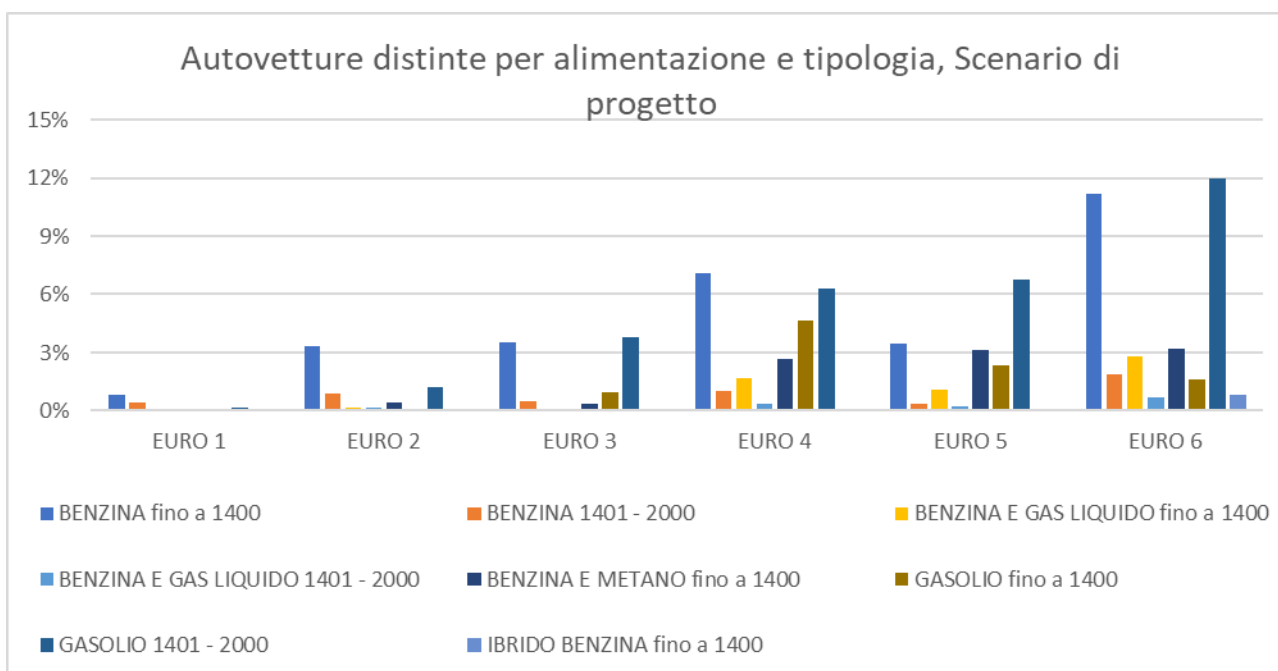


Figura 7-5 Suddivisione percentuale Autovetture previste per lo scenario di progetto, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

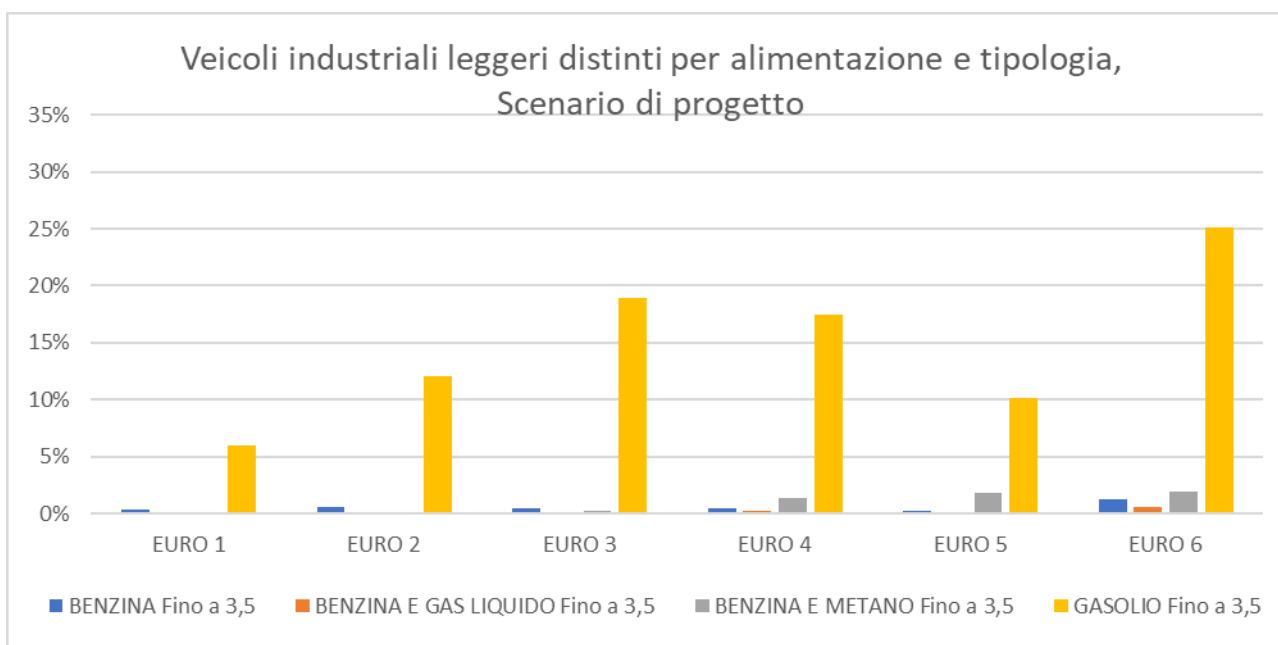


Figura 7-6 Suddivisione percentuale Veicoli industriali leggeri previsti per lo scenario di progetto, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

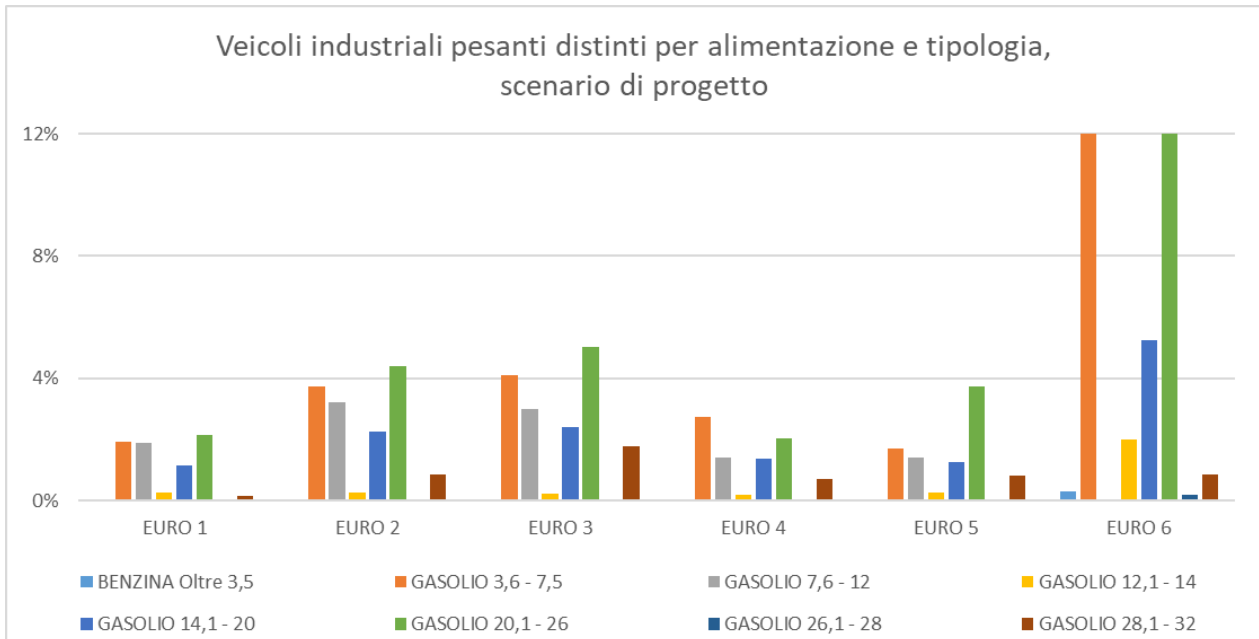


Figura 7-7 Suddivisione percentuale Veicoli industriali pesanti previsti per lo scenario di progetto, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

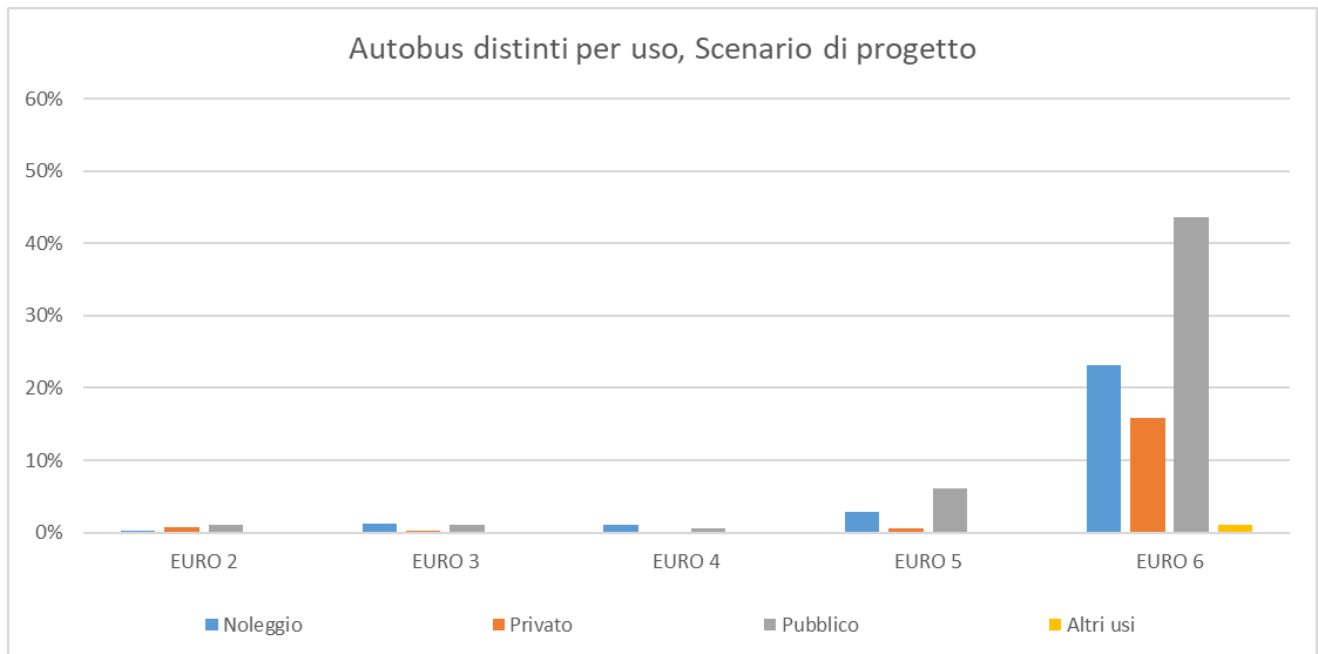


Figura 7-8 Suddivisione percentuale Autobus previsti per lo scenario di progetto, Regione Marche (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2021)

7.2.2.2. Volumi e velocità del traffico circolante

Un dato progettuale utile al fine di definire l'emissione derivante dal traffico veicolare è dato dalle velocità media ipotizzate lungo il tracciato. Nello specifico, è stata assunta una velocità di

percorrenza di 70km/h e 50km/h rispettivamente per i veicoli leggeri e pesanti lungo la sezione stradale di riferimento. Di seguito viene riportato il dato di traffico giornaliero medio distinto tra mezzi leggeri e pesanti lungo il tratto stradale di interesse utilizzato nelle simulazioni modellistiche.

Traffico giornaliero medio (TGM)		
Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Totale
1188	432	1620

Tabella 7-9 Dati di traffico, espresso in termini giornalieri medi e diviso tra veicoli leggeri e pesanti in transito lungo il tracciato di riferimento per la simulazione

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



Figura 7-9 Rappresentazione tratto stradale di riferimento (in blu viene rappresentato il tracciato simulati ai fini del calcolo diffusivo)

Per quanto riguarda invece lo scenario di progetto, è stato ipotizzato che la domanda di traffico non vari; contrariamente al dato di traffico, le simulazioni sono state condotte seguendo il tracciato di progetto, riportato nella figura sottostante.

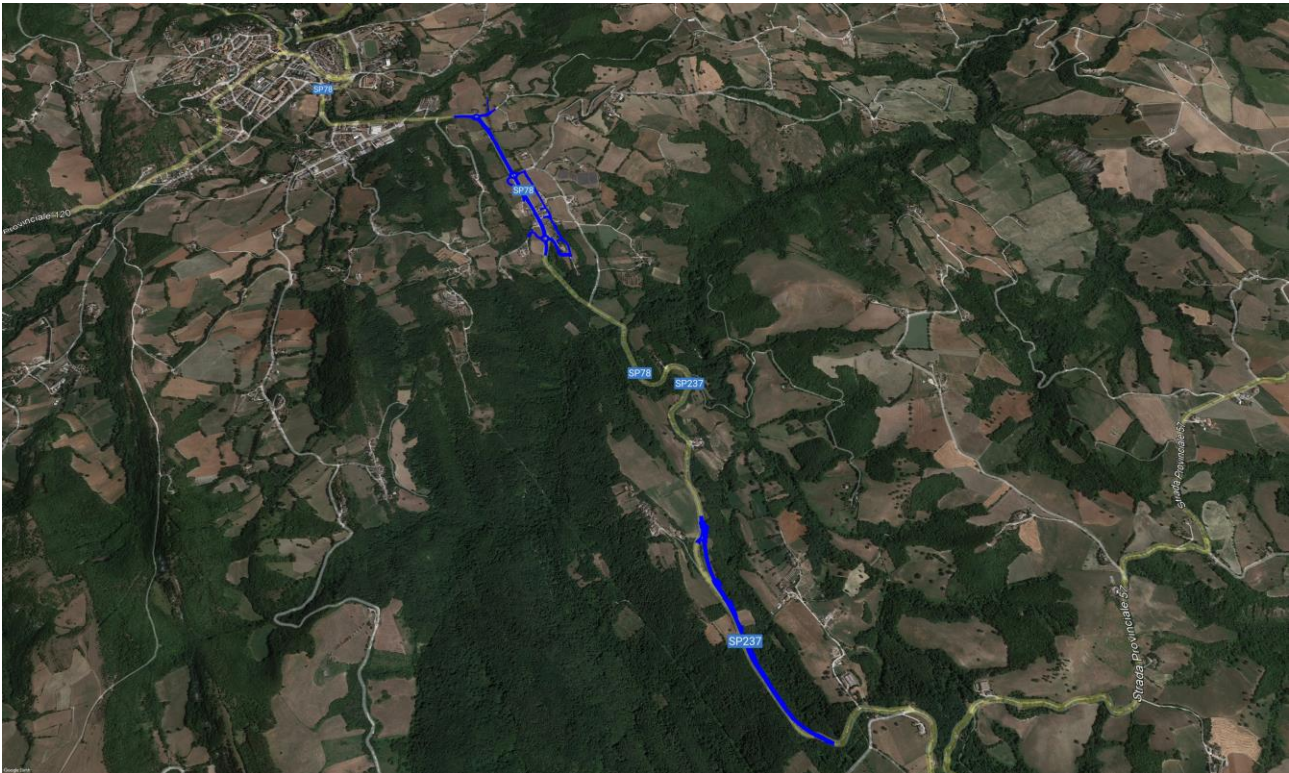


Figura 7-10 Rappresentazione tratto stradale di riferimento (in blu viene rappresentato il tracciato simulati ai fini del calcolo diffusivo)

7.2.2.3. 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 e gli autobus.

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

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

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

Inquinanti	Velocità (km/h)	Fattore di emissione leggeri (g/km*veicolo)	Fattore di emissione pesanti (g/km*veicolo)
NOX	50	-	6,77

Inquinanti	Velocità (km/h)	Fattore di emissione leggeri (g/km*veicolo)	Fattore di emissione pesanti (g/km*veicolo)
	70	0,67	-
PM10	50	-	0,18
	70	0,02	-
C6H6	50	-	0,73
	70	0,21	-

Tabella 7-10 Fattore di emissione Benzene, Nox e PM10 di veicoli leggeri e pesanti - Scenario attuale

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

Inquinanti	Velocità (km/h)	Fattore di emissione leggeri (g/km*veicolo)	Fattore di emissione pesanti (g/km*veicolo)
NOX	50	-	4,19
	70	0,46	-
PM10	50	-	0,09
	70	0,01	-
C6H6	50	-	0,41
	70	0,09	-

Tabella 7-11 Fattore di emissione Benzene, Nox e PM10 di 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.

7.2.2.4. Definizione dei punti di calcolo

Definizione dei punti recettori

Come punti recettori, in prossimità dei quali sono state stimate le concentrazioni degli inquinanti, sono stati scelti i recettori più vicini dell'asse stesso, al fine di poter stimare la modificazione della qualità dell'aria sia nelle vicinanze delle opere di progetto. Nel complesso sono stati individuati 9 ricettori per valutare la protezione della salute umana e due ricettori (V1 e V2) per la protezione della vegetazione.

Di seguito, per ogni recettore individuato, oltre alla loro rappresentazione, se ne riportano le coordinate geografiche, la destinazione d'uso ed il comune di appartenenza.



Figura 7-11 Rappresentazione punti recettori

Ricettore	Coordinate (m)		Destinazione d'uso	Comune
	X	Y		
R1	363600.28	4762977.86	Edificio residenziale	Amandola
R2	362991.74	4764767.68	Edificio residenziale	Sarnano
R3	362967.96	4764835.19	Edificio residenziale	Sarnano
R4	362934.2	4764848.11	Edificio residenziale	Sarnano
R5	362929.09	4764905.14	Edificio residenziale	Sarnano
R6	362923.98	4764929.35	Edificio residenziale	Sarnano
R7	362909.04	4764953.85	Edificio residenziale	Sarnano
R8	362879.15	4764932.78	Edificio residenziale	Sarnano
R9	362634.92	4765516.2	Edificio residenziale	Sarnano
V1	363889.22	4762307.00	Area boscata	Amandola
V2	364012.81	4762251.00	Area boscata	Amandola

Tabella 7-12 Coordinate geografiche dei punti recettori scelti per l'analisi

Definizione della maglia di calcolo

In aggiunta ai recettori 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 5, 10 e 20 metri dalla strada, con una distanza reciproca rispettivamente di 10,20 e 50 metri.

7.2.3. I RISULTATI DELL'ANALISI ALLO STATO ATTUALE

7.2.3.1. Aspetti generali

Nel presente paragrafo si riportano i principali risultati ottenuti dal modello di simulazione per lo scenario attuale. In particolare, vengono riportati i valori relativi a:

- Biossido di Azoto NO₂;
- Ossidi di azoto NO_x;
- Particolato PM10;
- Particolato PM2,5;
- Benzene C₆H₆.

Per la rappresentazione grafica delle concentrazioni medie annue è possibile far riferimento ai seguenti elaborati grafici:

- "Planimetria dei ricettori e delle concentrazioni NO_x – Ante Operam e Post Operam" (T00IA03AMBPL04A);
- "Planimetria dei ricettori e delle concentrazioni NO₂ – Ante Operam e Post Operam" (T00IA03AMBPL05A);
- "Planimetria dei ricettori e delle concentrazioni PM₁₀ – Ante Operam e Post Operam" (T00IA03AMBPL06A);
- "Planimetria dei ricettori e delle concentrazioni Benzene – Ante Operam e Post Operam" (T00IA03AMBPL07A);

Di seguito, invece, vengono riportati i risultati delle concentrazioni degli inquinanti di interesse stimati in corrispondenza dei punti recettori specifici, al fine di condurre le verifiche con i limiti definiti in normativa per ogni inquinante. Gli inquinanti in esame sono stati relazionati a diversi intervalli di mediazione temporale in virtù dei diversi limiti imposti dalla normativa vigente.

7.2.3.2. L'analisi delle concentrazioni

NO₂

Ricettore	SCENARIO ATTUALE – VALORI ORARI NO ₂						Max [µg/m ³]
	Min [µg/m ³]	Percentili [µg/m ³]					
		50°	85°	90°	95°	99,8°	
R1	0,00	0,00	0,89	1,27	1,78	4,83	5,04
R2	0,00	1,05	3,28	5,17	6,37	9,83	13,15
R3	0,00	1,19	3,64	5,35	7,16	8,53	9,67
R4	0,00	0,14	4,75	6,42	7,79	13,31	14,20
R5	0,00	1,80	5,70	8,39	10,05	15,63	16,26
R6	0,00	1,35	4,27	5,96	7,65	10,57	10,85
R7	0,00	1,59	5,05	7,12	8,97	13,30	13,78
R8	0,00	0,00	2,48	3,18	3,92	6,55	6,79
R9	0,00	0,46	5,22	6,94	9,42	17,19	17,60

Tabella 7-13 Percentili e valori massimi e minimi orari NO₂ – Scenario attuale

SCENARIO ATTUALE – MEDIE ANNUE NO ₂				
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	0,46	10,92	11,38	40
R2	1,77	10,92	12,69	40
R3	1,90	10,92	12,82	40
R4	2,26	10,92	13,18	40
R5	3,00	10,92	13,92	40
R6	2,16	10,92	13,08	40
R7	2,59	10,92	13,51	40
R8	1,14	10,92	12,06	40
R9	2,58	10,92	13,50	40

Tabella 7-14 Valori di concentrazione media annua di NO₂ – Scenario attuale

Dall'analisi dei livelli di concentrazione di NO₂, non sono emersi superamenti del valore normativo, sia in termini di media annua che di massimi orari. Per quanto riguarda i valori massimi orari, il recettore in cui sono stati riscontrati valori maggiori è risultato R9, nel quale si registra una concentrazione massima oraria stimata di NO₂, pari a 17,60 µg/m³ e una concentrazione media annua comprensiva del fondo, di 13,50 µg/m³.

PM10

Ricettori	SCENARIO ATTUALE – VALORI GIORNALIERI PM10							
	Min [µg/m ³]	Percentili [µg/m ³]					Max [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
		50°	85°	90,4°	95°	99°		
R1	0,00	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	50
R2	0,00	0,08	0,11	0,13	0,14	0,18	0,24	50
R3	0,00	0,08	0,11	0,14	0,16	0,18	0,24	50
R4	0,00	0,10	0,15	0,18	0,20	0,25	0,29	50
R5	0,00	0,12	0,18	0,22	0,25	0,30	0,35	50
R6	0,00	0,09	0,13	0,17	0,18	0,21	0,26	50
R7	0,00	0,11	0,15	0,20	0,22	0,26	0,31	50
R8	0,00	0,05	0,08	0,09	0,10	0,13	0,14	50
R9	0,00	0,11	0,17	0,21	0,23	0,28	0,35	50

Tabella 7-15 Percentili e valori massimi e minimi giornalieri PM10– Scenario attuale

Recettori	Concentrazione media annua di PM10 stimata [µg/m ³]	Concentrazione media annua di PM10 registrato dalla centralina [µg/m ³]	Concentrazione media annua di PM10 totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
R1	0,020	14,20	14,220	40
R2	0,076	14,20	14,276	40
R3	0,081	14,20	14,281	40
R4	0,097	14,20	14,297	40
R5	0,130	14,20	14,330	40
R6	0,093	14,20	14,293	40

Recettori	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 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
R7	0,112	14,20	14,312	40
R8	0,049	14,20	14,249	40
R9	0,111	14,20	14,311	40

Tabella 7-16 Valori di concentrazione media annua di PM10 – Scenario attuale

Dall'analisi dei livelli di concentrazione di PM10, non sono emersi superamenti del valore normativo, sia in termini di media annua che di massimi giornalieri.

Per quanto riguarda i valori massimi giornalieri, il recettore più critico è risultato R5, nel quale si registra una concentrazione giornaliera di particolato grossolano pari a 0,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche per i valori annui il recettore più critico è risultato R5, nel quale si registra una concentrazione media annua totale di PM₁₀ (comprensiva del fondo) pari a 14,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analoghe considerazioni, relativamente al pieno rispetto dei limiti normativi, possono essere desunte per il particolato fine (PM_{2.5}), essendo il massimo valore di media annua registrata per il PM₁₀, comprensivo del suo fondo, già inferiore al limite normativo imposto per la media annua del PM_{2.5}.

C₆H₆

Ricettori	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ stimata [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ registrato dalla centralina [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
R1	0,12	0,41	0,53	5
R2	0,45	0,41	0,86	5
R3	0,48	0,41	0,89	5
R4	0,57	0,41	0,98	5
R5	0,77	0,41	1,18	5
R6	0,55	0,41	0,96	5
R7	0,66	0,41	1,07	5
R8	0,29	0,41	0,70	5
R9	0,66	0,41	1,07	5

Tabella 7-17 Valori di concentrazione media annua di PM10 – Scenario attuale

Dall'analisi dei livelli di concentrazione di Benzene, non sono emersi superamenti del valore normativo espresso per la concentrazione media annua.

Nello specifico, il recettore più critico è risultato R5, nel quale si registra una concentrazione media annua pari a 1,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

NO_x

Ricettori	Concentrazione media annua di NO _x stimata [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di NO _x registrato dalla centralina [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di C NO _x totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
-----------	--	--	---	---

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 C NO _x totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
V1	1,41	19,50	20,91	30
V2	1,55	19,50	21,05	30

Tabella 7-18 Valori di concentrazione media annua di PM10 – Scenario attuale

Dall'analisi dei livelli di concentrazione di Ossidi di Azoto, non sono emersi superamenti del valore normativo espresso per la concentrazione media annua sui ricettori individuati per la salvaguardia della vegetazione.

Nello specifico, il recettore più critico è risultato V2, nel quale si registra una concentrazione media annua pari a 21,05 µg/m³.

7.2.4. I RISULTATI DELL'ANALISI ALLO STATO DI PROGETTO

7.2.4.1. 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 7.2.3.1.

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.

7.2.4.2. L'analisi delle concentrazioni

NO₂

Ricettore	SCENARIO ATTUALE – VALORI ORARI NO ₂						
	Min [µg/m ³]	Percentili [µg/m ³]					Max [µg/m ³]
		50°	85°	90°	95°	99,8°	
R1	0,00	0,00	0,48	0,68	0,90	2,06	2,17
R2	0,00	0,01	0,42	0,90	1,48	4,18	5,53
R3	0,00	0,71	2,24	3,47	4,55	6,07	6,55
R4	0,00	0,06	2,60	3,54	4,25	6,82	7,10
R5	0,00	1,23	4,35	6,46	7,59	12,78	13,35
R6	0,00	0,99	3,18	4,63	5,71	8,81	9,05
R7	0,00	1,23	3,97	6,01	6,82	11,58	12,16
R8	0,00	0,00	1,43	1,83	2,26	3,74	3,77
R9	0,00	0,02	2,72	3,59	4,68	8,23	8,39

Tabella 7-19 Percentili e valori massimi e minimi orari NO₂ – Scenario di progetto

SCENARIO ATTUALE – MEDIE ANNUE NO ₂				
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	0,24	10,92	11,16	40
R2	0,28	10,92	11,20	40
R3	1,20	10,92	12,12	40

SCENARIO ATTUALE – MEDIE ANNUE NO ₂				
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]
R4	1,25	10,92	12,17	40
R5	2,25	10,92	13,17	40
R6	1,65	10,92	12,57	40
R7	2,10	10,92	13,02	40
R8	0,66	10,92	11,58	40
R9	1,30	10,92	12,22	40

Tabella 7-20 Valori di concentrazione media annua di NO₂ – Scenario di progetto

Dall'analisi dei livelli di concentrazione di NO₂, non sono emersi superamenti del valore normativo, sia in termini di media annua che di massimi orari. Per quanto riguarda i valori massimi orari, il recettore in cui sono stati riscontrati valori maggiori è risultato R7, nel quale si registra una concentrazione massima oraria stimata di NO₂, pari a 12,16 µg/m³ e una concentrazione media annua comprensiva del fondo, di 13,02 µg/m³.

PM10

Ricettori	SCENARIO ATTUALE – VALORI GIORNALIERI PM10							
	Min [µg/m ³]	Percentili [µg/m ³]					Max [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
		50°	85°	90,4°	95°	99°		
R1	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	50
R2	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	50
R3	0,00	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,13	50
R4	0,00	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	50
R5	0,00	0,08	0,12	0,15	0,17	0,20	0,22	50
R6	0,00	0,06	0,08	0,11	0,12	0,14	0,17	50
R7	0,00	0,07	0,11	0,13	0,15	0,18	0,21	50
R8	0,00	0,02	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	50
R9	0,00	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,15	50

Tabella 7-21 Percentili e valori massimi e minimi giornalieri PM10– Scenario di progetto

Recettori	Concentrazione media annua di PM10 stimata [µg/m ³]	Concentrazione media annua di PM10 registrato dalla centralina [µg/m ³]	Concentrazione media annua di PM10 totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
R1	0,009	14,20	14,209	40
R2	0,010	14,20	14,210	40
R3	0,044	14,20	14,244	40
R4	0,046	14,20	14,246	40

Recettori	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 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
R5	0,084	14,20	14,284	40
R6	0,061	14,20	14,261	40
R7	0,078	14,20	14,278	40
R8	0,024	14,20	14,224	40
R9	0,048	14,20	14,248	40

Tabella 7-22 Valori di concentrazione media annua di PM10 – Scenario attuale

Dall'analisi dei livelli di concentrazione di PM10, non sono emersi superamenti del valore normativo, sia in termini di media annua che di massimi giornalieri.

Per quanto riguarda i valori massimi giornalieri, il recettore più critico è risultato R5, nel quale si registra una concentrazione giornaliera di particolato grossolano pari a 0,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche per i valori annui il recettore più critico è risultato R5, nel quale si registra una concentrazione media annua totale di PM₁₀ (comprensiva del fondo) pari a 14,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analoghe considerazioni, relativamente al pieno rispetto dei limiti normativi, possono essere desunte per il particolato fine (PM_{2.5}), essendo il massimo valore di media annua registrata per il PM₁₀, comprensivo del suo fondo, già inferiore al limite normativo imposto per la media annua del PM_{2.5}.

C₆H₆

Ricettori	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ stimata [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ registrato dalla centralina [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentrazione media annua di C ₆ H ₆ totale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite normativo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
R1	0,05	0,41	0,46	5
R2	0,06	0,41	0,47	5
R3	0,24	0,41	0,65	5
R4	0,25	0,41	0,66	5
R5	0,46	0,41	0,87	5
R6	0,34	0,41	0,75	5
R7	0,43	0,41	0,84	5
R8	0,13	0,41	0,54	5
R9	0,26	0,41	0,67	5

Tabella 7-23 Valori di concentrazione media annua di PM10 – Scenario attuale

Dall'analisi dei livelli di concentrazione di Benzene, non sono emersi superamenti del valore normativo espresso per la concentrazione media annua.

Nello specifico, il recettore più critico è risultato R5, nel quale si registra una concentrazione media annua pari a 0,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

NO_x

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 C NO _x totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
V1	0,77	19,50	20,27	30
V2	1,15	19,50	20,65	30

Tabella 7-24 Valori di concentrazione media annua di PM10 – Scenario attuale

Dall'analisi dei livelli di concentrazione di Ossidi di Azoto, non sono emersi superamenti del valore normativo espresso per la concentrazione media annua sui ricettori individuati per la salvaguardia della vegetazione.

Nello specifico, il recettore più critico è risultato V2, nel quale si registra una concentrazione media annua pari a 20,65 µg/m³.

8. LE INTERFERENZE IN FASE DI CANTIERE

8.1. 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 Aermid View.

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

8.2. GLI INPUT DEL MODELLO DI CALCOLO

8.2.1. INPUT TERRITORIALI

8.2.1.1. 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, Aermid, denominato Aermid.

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. 7.2.1), 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 Aermid 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 8-1 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°=13);
- 19-21: si indica la velocità del vento, espressa in nodi (001 Knot= 1853 m/h);
- 22-24: la temperatura espressa in questa tre caselle è indicata in gradi Fahrenheit (si ricorda la relazione: $T^{\circ}f = 9/5 (T^{\circ}c + 32)$);
- 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 FAA ed alcune analisi sperimentali hanno dimostrato una buona approssimazione tra le concentrazioni stimate a partire dai dati in quota rispetto a quelle stimate attraverso l'uso dell'Upper Air Estimator.

8.2.1.2. I dati orografici

Per la valutazione delle interferenze in fase di cantiere è stato utilizzato il software Aermod View. Questo, grazie al processore territoriale AERMAP, permette di configurare l'orografia del territorio in esame, essenzialmente distinguendo tre tipologie di territorio così come mostrato in Figura 8-1.

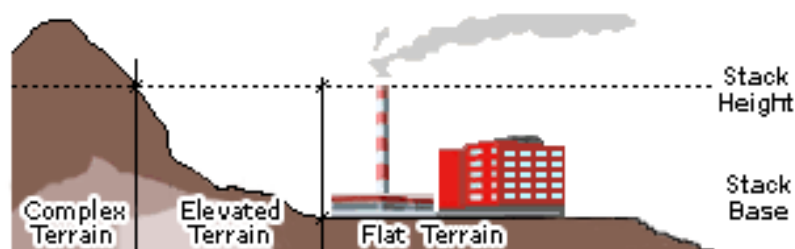


Figura 8-1 Tipologie di configurazioni territoriali

Con riferimento all'area di intervento, in cui avvengono i lavori di cantierizzazione per la realizzazione del progetto in esame, si è adottata una conformazione del territorio di tipo "elevated terrain".

8.2.2. INPUT PROGETTUALI

8.2.2.1. 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.

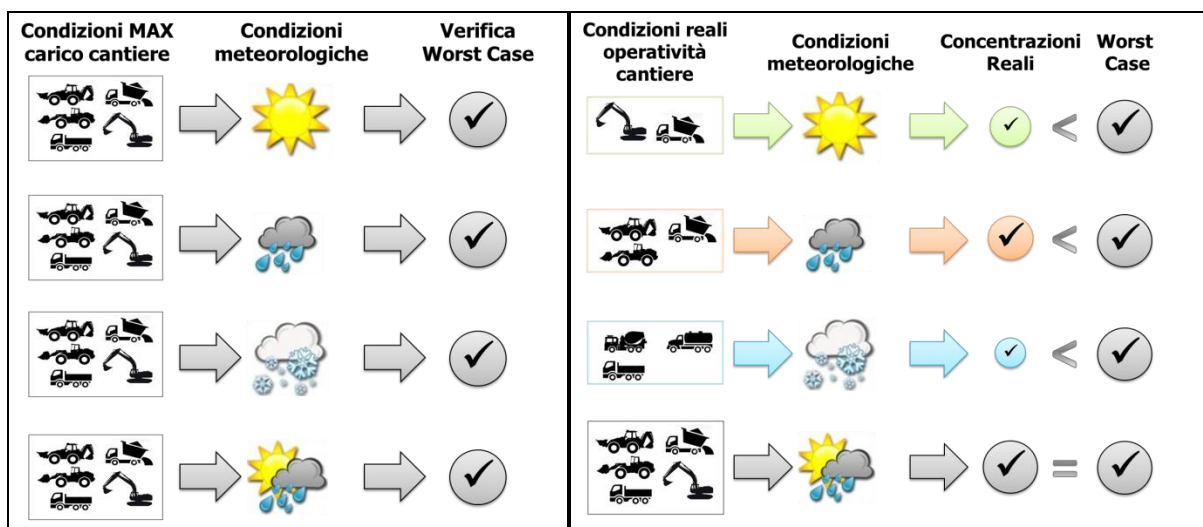


Figura 8-2 Logica delle verifiche con il worst case scenario

Volendo esplicitare la logica della Figura 8-2, 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.

8.2.2.2. 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 è stato individuato un unico scenario di riferimento per le analisi modellistiche della fase di cantiere, comprendente le seguenti aree di lavoro:

- l'area di stoccaggio in prossimità del campo base;
- l'area relativa alla realizzazione della rotatoria.

Di seguito si riportano le principali lavorazioni previste nelle sorgenti sopra elencate 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.

Sorgenti emissive	Attività di cantiere
Area di stoccaggio	Formazione e stoccaggio cumuli
	Erosione del vento dai cumuli
	Gas di scarico dei mezzi di cantiere
Realizzazione rotatoria	Formazione e stoccaggio cumuli
	Erosione del vento dai cumuli
	Gas di scarico dei mezzi di cantiere

Tabella 8-2 Lavorazioni previste e relativi fattori di emissione



Figura 8-3 Rappresentazione delle aree di cantiere oggetto della simulazione

Definizione dei punti di calcolo

Ultimo step dell'analisi prima dell'applicazione del modello è la definizione di 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 di riferimento è stata definita una maglia di punti di calcolo le cui caratteristiche sono sinteticamente riportate in tabella.

Coordinate del centro della maglia	362965,40
Coordinate del centro della maglia	4764394,28
Passo lungo l'asse X	20
Passo lungo l'asse Y	20
N° di punti di calcolo totali	2249

Tabella 8-3 Coordinate maglia dei punti di calcolo scenario di riferimento

Al fine di poter effettuare la sovrapposizione degli effetti tra i valori di fondo ed il contributo dei cantieri, si è fatto riferimento a nove punti ricettore rappresentativi degli edifici e aree verdi più vicine alle aree di cantiere simulate. In particolare, i ricettori considerati per lo scenario di riferimento sono indicati nella tabella sottostante.

Ricettori	Coordinata X (m)	Coordinata Y (m)
R1	363019,00	4764760,00
R2	362994,54	4764770,61
R3	362880,00	4764653,00
R4	362851,00	4764652,00
R5	362971,78	4764837,54
R6	363002,77	4764832,17
V1	363213,64	4764578,03
V2	363159,85	4764494,56
V3	363323,00	4764417,00

Tabella 8-4 Coordinate ricettori discreti scenario di riferimento

Nello specifico i ricettori V1, V2 e V3 sono stati scelti per valutare la qualità dell'aria relativa alla salvaguardia della vegetazione, mentre i restanti ricettori sono stati scelti in corrispondenza a edifici residenziali per valutare la salvaguardia della salute umana.

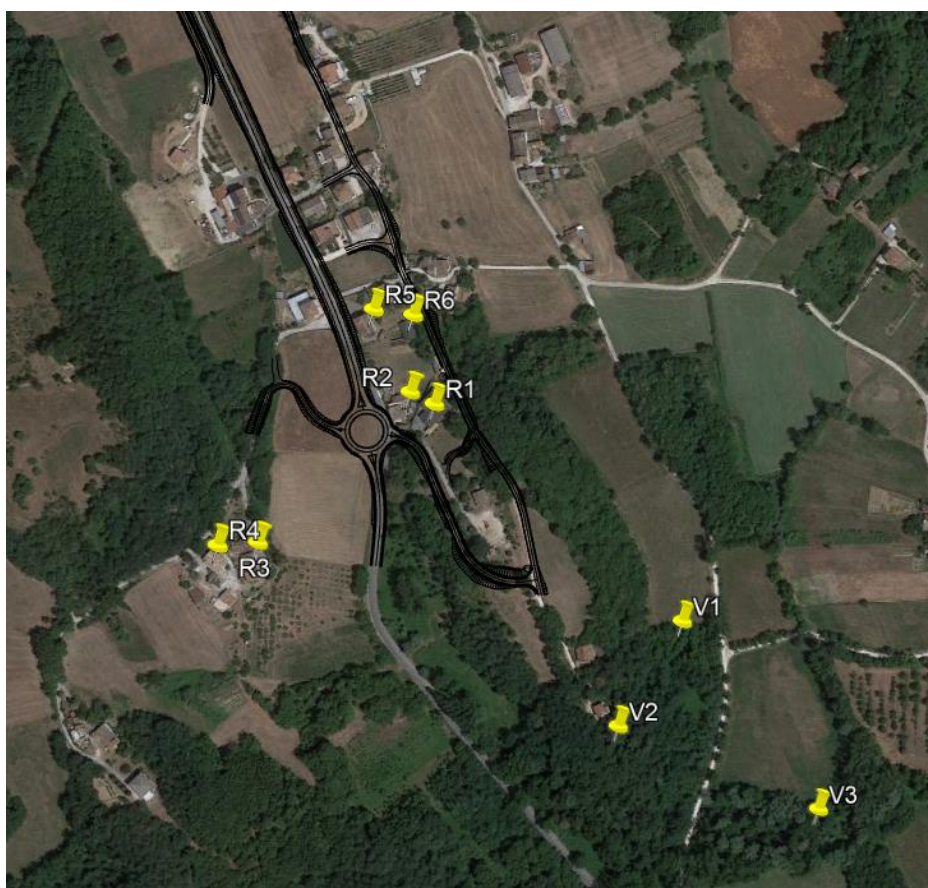


Figura 8-4 Localizzazione ricettori discreti per lo scenario di riferimento

8.2.2.3. La metodologia per il calcolo dei fattori di emissione

I fattori di emissione rappresentano la capacità unitaria di emissione delle attività che si stanno analizzando. Il fattore di emissione, quindi, 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 tali valori si è ricorso ai dati bibliografici messi a disposizione dalla U.S. E.P.A. (United States Environmental Protection Agency) Emission Factors & AP42 "Compilation of Air

Pollutant Emission Factor". In tale documento sono riportati tutti i fattori di emissione riguardanti le principali sorgenti, dagli impianti industriali, agli impianti estrattivi, sino alle operazioni di costruzioni civili.

Nei seguenti paragrafi, verranno calcolati i singoli fattori di emissione relativi al PM₁₀ e al PM_{2.5} (principali inquinanti generati dalle operazioni di cantiere), in relazione alle attività ritenute critiche per l'inquinamento atmosferico.

I fattori di emissione relativi al carico e scarico del materiale:

Nel presente paragrafo vengono calcolati i fattori di emissione generati dalle attività di carico e scarico del materiale polverulento nelle aree di stoccaggio e nelle aree di lavoro.

Con riferimento alle attività in esame è stata 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 8-5 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 8-6 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:

- U = velocità media del vento considerando la configurazione più frequente pari a 3,37 m/s (valore desunto dall'analisi meteorologica);
- M = percentuale di umidità considerata pari a 4,8 %;
- k = pari a 0,35 per considerare l'apporto del PM₁₀ e 0,053 per considerare l'apporto del PM_{2.5}.

Applicando la formulazione sopra indicata ed ipotizzati circa 130 m³/giorno di materiale mobilitato, le emissioni di PM₁₀ generate dai singoli cantieri in esame sono quelli riportati nella tabella sottostante.

Cantiere	Fattore di emissione PM₁₀[g/s]
Area Stoccaggio	

Area realizzazione rotatoria	0,0007
-------------------------------------	--------

Tabella 8-7 Fattori di emissione areale per il PM10 - carico e scarico

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

All'interno delle aree di stoccaggio viene tenuta in considerazione, come altra attività che genera emissioni di PM₁₀ e PM_{2,5}, 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 8-8 Valori coefficiente aerodinamico (Fonte: EPA AP42)

Il fattore N, invece, dipende dal numero di movimentazioni a cui è sottoposto un cumulo ogni anno. Nel caso in esame si è supposto, in via cautelativa, che tutti i cumuli fossero sottoposti ad almeno una movimentazione giornaliera. 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.

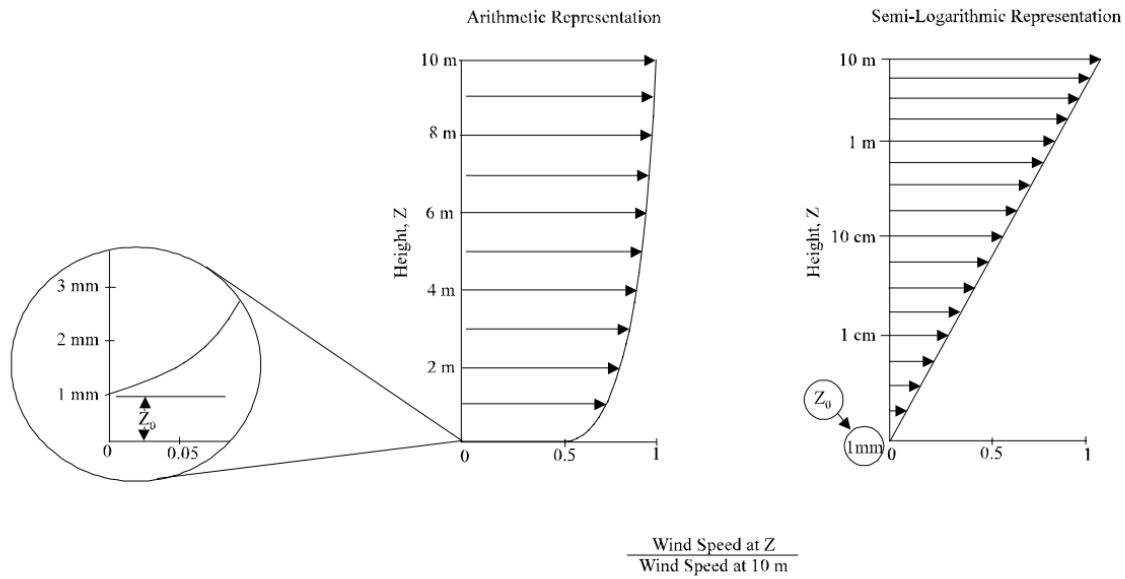


Figura 8-5 Illustrazione del profilo logaritmico della velocità (Fonte: EPA AP42)

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 procedure published by W. S. Chepil). Tuttavia, in mancanza di tali sperimentazioni è possibile fare riferimento ad alcuni risultati già effettuati e riportati nella tabella sottostante.

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 8-9 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 base su altezza sia inferiore a 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".

Ordinando i valori di u_{10}^+ in senso decrescente in funzione dei diversi giorni dell'anno è possibile determinare il grafico di Figura 8-6.

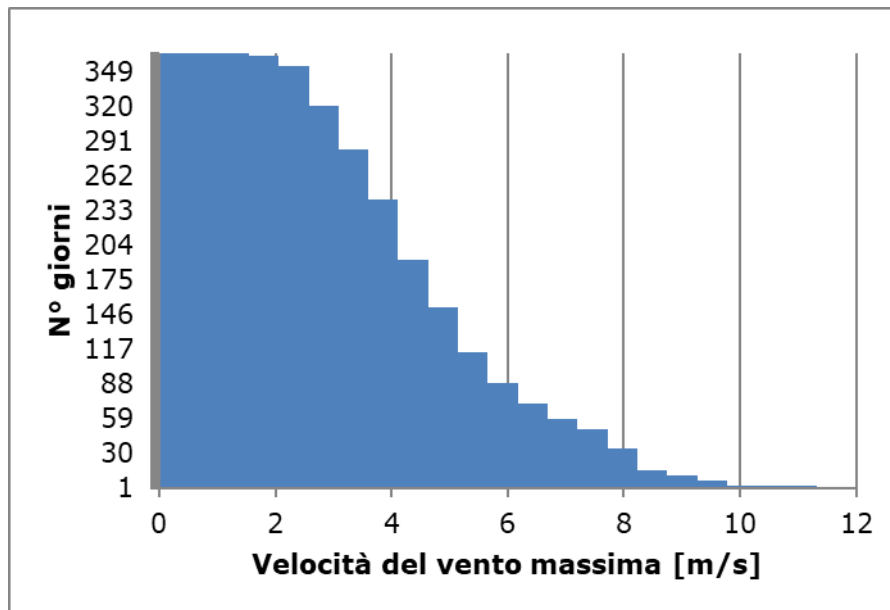


Figura 8-6 Velocità del vento max ordinata in senso crescente

Da tali valori è quindi stato possibile determinare i valori di u^* così come riportato in Figura 8-7.

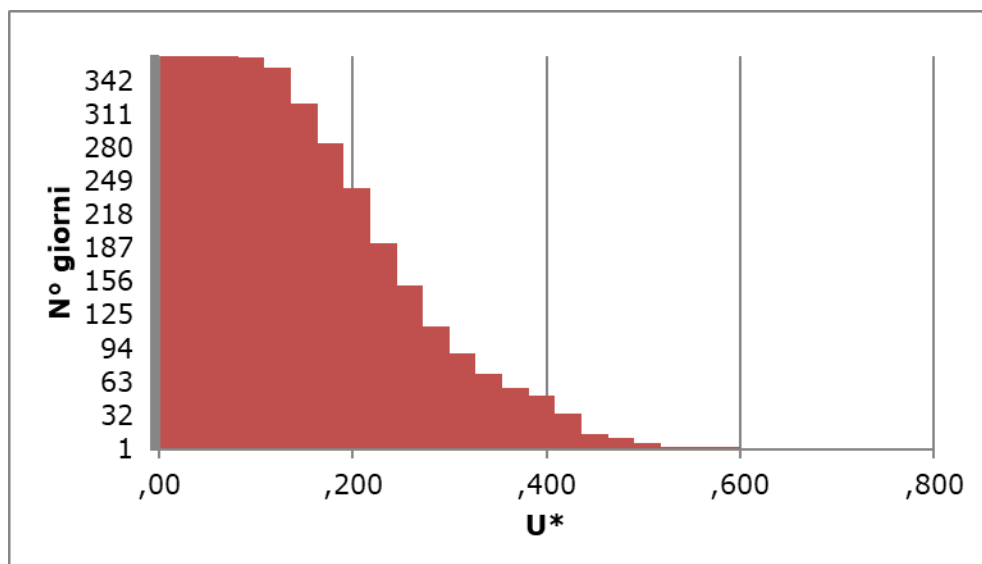


Figura 8-7 - Valori di u^* ordinati in senso crescente

Dall'analisi dei risultati emerge come u^* non assuma mai valori soglia e pertanto l'erosione potenziale risulta nulla.

Le sorgenti lineari

Come detto in precedenza, i gas di scarico dei macchinari previsti nelle aree di cantiere costituiscono una potenziale sorgente di emissione di NO_x, NO₂, PM₁₀ e PM_{2.5}. Per la stima dei loro fattori di emissione, si è fatto riferimento alle elaborazioni della South Coast Air Quality Management District, "Off road mobile Source emission Factor" che forniscono i fattori di emissione dei mezzi di cantiere. Tali fattori vengono espressi in funzione della categoria dell'equipaggiamento, della potenza espressa in cavalli (HP) e del fattore di carico.

Il calcolo delle emissioni proposto nel documento citato si basa sulla seguente formula:

$$E = n \times H \times EF$$

In cui:

- E esprime la massa di emissioni prodotta per unità di tempo [lb/g];
- n il numero di veicoli per ciascuna categoria;
- H le ore al giorno di funzionamento dell'apparecchiatura [h];
- EF il fattore di emissione della fonte mobile "Off road mobile Source Emission Factor" [lb/h].

Di seguito vengono riassunti i fattori di emissione per ciascun mezzo di cantiere previsto, in funzione dell'inquinante considerato (NO_x e PM₁₀).

Macchina di cantiere	Emissione [g/s]	
	PM ₁₀	NO _x
Autocarro	0,0019	0,055
Escavatore	0,0021	0,042
Dumper	0,0003	0,007
Gruppo elettrogeno	0,0029	0,065
Pala gommata	0,0028	0,052
Pompa per calcestruzzo	0,0031	0,066

Tabella 8-10 Fattori di emissione (fonte: South Coast Air Quality Management District - "Off road mobile Source emission Factor")

Sintesi fattori di emissione

In merito ai fattori di emissione per ogni area di cantiere si può far riferimento alla seguente Tabella.

ID AREE	Fattore di emissione areale [g/s]			
	PM ₁₀			NO _x Mezzi cantiere
	Attività cantiere	Mezzi cantiere	Totale	
Area Stoccaggio	0,0007	0,007	0,0079	0,171
Area realizzazione rotatoria	0,0007	0,010	0,0114	0,240

Tabella 8-11 Fattori di emissione areali PM10 e NOx

8.2.3. 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 NO₂ – Cantiere"

- “Planimetria dei ricettori e concentrazioni NO_x – Cantiere”

8.2.4. L'ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI

PM ₁₀ [µg/m ³]				
Ricettori	Media annua	Fondo	Totale	Valore normativo
R1	0,12	14,09	14,21	40
R2	0,39		14,48	
R3	0,01		14,10	
R4	0,01		14,10	
R5	0,09		14,18	
R6	0,06		14,15	

Tabella 8-12 Output dato medio annuo dell'inquinante PM₁₀- Fase di cantiere

Analogamente, è possibile definire anche per il particolato fine (PM_{2.5}) una situazione di rispetto del limite normativo riferito alla media annua, pari a 25 µg/m³, essendo i valori di concentrazione media annua di PM₁₀, comprensivi del valore di fondo, inferiori a tale limite.

PM ₁₀ [µg/m ³]				
Ricettori	Massimo giornaliero	Fondo	Totale	Valore normativo
R1	1,42	14,09	15,51	50
R2	4,32		18,42	
R3	0,11		14,20	
R4	0,09		14,18	
R5	1,35		15,44	
R6	0,85		14,95	

Tabella 8-13 Output dato massimi giornalieri dell'inquinante PM₁₀ - Fase di cantiere

NO ₂ [µg/m ³]				
Ricettori	Media annua	Fondo	Totale	Valore normativo
R1	1,33	10,92	12,25	40
R2	4,29		15,21	
R3	0,15		11,07	
R4	0,14		11,06	
R5	1,06		11,98	
R6	0,74		11,66	

Tabella 8-14 Output dato medio annuo dell'inquinante NO₂- Fase di cantiere

NO ₂ [µg/m ³]				
Ricettori	Massimo orario	Fondo	Totale	Valore normativo
R1	113,44	10,92	124,36	200
R2	185,52		196,44	
R3	14,28		25,20	
R4	11,08		22,00	
R5	109,19		120,11	
R6	93,14		104,06	

Tabella 8-15 Output dato massimi orari dell'inquinante NO₂ – Fase di cantiere

Ricettori	NO _x [µg/m ³]			Valore normativo
	Media annua	Fondo	Totale	
V1	0,86	19,56	20,42	30
V2	0,66		20,22	
V3	0,53		20,09	

Tabella 8-16 Output dato medio annuo dell'inquinante NO_x - Fase di cantiere

Alla luce dei risultati sopra riportati, considerando che lo scenario individuato è rappresentativo della condizione più critica in fase di costruzione, le interferenze prodotte dalle attività di cantiere sulla componente atmosfera, anche con l'aggiunta del valore di fondo di riferimento, non hanno portato a superamenti dei limiti normativi sia per gli inquinanti studiati per la salvaguardia della salute umana (PM₁₀, PM_{2.5} e NO₂), che per le concentrazioni di ossidi di azoto, monitorate sui ricettori V1, V2 e V3 per la salvaguardia della vegetazione.

Saranno comunque previsti dei punti di monitoraggio in fase di cantiere per verificare i livelli di emissioni in atmosfera durante i lavori. Inoltre, si sottolinea comunque l'impiego di alcune best practice da adottare in fase di cantiere al fine di minimizzare la dispersione di inquinanti, specialmente di polveri, in atmosfera.

8.3. 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.

9. CONCLUSIONI DELLO STUDIO

9.1. CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI ESERCIZIO

Lo studio condotto in merito all'analisi delle concentrazioni degli inquinanti nell'atmosfera, generati dall'esercizio del progetto in esame ed in particolare dal traffico veicolare previsto circolante sulla

nuova infrastruttura, non ha rilevato criticità ambientali dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico.

Dall'analisi delle concentrazioni effettuata 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.

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

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

9.2. CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI CANTIERE

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

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

Inoltre, con la finalità di minimizzare la diffusione degli inquinanti, si sottolinea l'impiego di Best Practice da adottare in fase di cantiere (cfr. paragrafo 8.3).