

S.S. 675 "UMBRO - LAZIALE"
**Sistema infrastrutturale del collegamento del porto
 di Civitavecchia con il nodo intermodale di Orte**
Tratta Monte Romano est - Civitavecchia
1° Stralcio Monte Romano est - Tarquinia

PROGETTO DEFINITIVO

COD.

SERVIZI DI SUPPORTO
 ASSISTENZA PER LA VINCA E AGGIORNAMENTO DEL SIA

ISTITUTO IRIDE: Prof. Vittorio Amadio Guidi
 Ing. Mauro Di Prete
 Ing. Valerio Veraldi

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.
 Ing. Biagio Camaldo

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

PROTOCOLLO

DATA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

ANALISI AMBIENTALE - Aria

Studio atmosferico

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

DPRM0366_D_2201_T00_IA31_AMB_RE01_A.Doc

CODICE ELAB. T00 IA31 AMB RE01

A

-

A1

Marzo 2022

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
------	-------------	------	---------	------------	-----------

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	7
2.1	PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI EUROPEI	7
2.2	PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI NAZIONALI	7
3	INQUADRAMENTO METEO CLIMATICO	11
3.1	IL DATO STORICO: ANDAMENTO 1971-2000	11
3.1.1	REGIME TERMICO	14
3.1.2	REGIME PLUVIOMETRICO	22
3.1.3	REGIME ANEMOMETRICO	27
3.2	IL DATO CONSIDERATO NELLE SIMULAZIONI MODELLISTICHE	34
3.2.1	REGIME TERMICO	35
3.2.2	REGIME ANEMOMETRICO	36
3.3	IL CONFRONTO TRA IL DATO STORICO E L'ANNO DI RIFERIMENTO DELLE SIMULAZIONI	39
3.3.1	CONCLUSIONI	43
4	ANALISI EMISSIVA	44
4.1	ANALISI EMISSIVA A LIVELLO NAZIONALE	44
4.2	ANALISI EMISSIVA A LIVELLO REGIONALE	47
4.3	ANALISI EMISSIVA A LIVELLO PROVINCIALE	48
5	ANALISI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	50
5.1	LA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA	50
5.2	LA RETE DI MONITORAGGIO	51
5.3	LO SCENARIO ATTUALE: ANALISI DEGLI INQUINANTI MONITORATI	53
5.3.1	OSSIDI E BIOSSIDI DI AZOTO	54
5.3.2	PARTICOLATO	63
5.4	QUADRO SINOTTICO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	67
6	I MODELLI DI SIMULAZIONE UTILIZZATI	69
6.1	COPERT V	69
6.2	CALROADS	70
6.3	AERMOD VIEW	71
7	LE SIMULAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO	75
7.1	LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI E LE ANALISI CONDOTTE	75
7.2	GLI INPUT DEL MODELLO DI CALCOLO	75
7.2.1	INPUT METEOROLOGICI	75
7.2.2	INPUT PROGETTUALI	75
7.2.2.1	La rete stradale di riferimento	75
7.2.2.2	La composizione del parco veicolare circolante	76
7.2.2.3	Volumi e velocità del traffico circolante	85
7.2.2.4	I fattori di emissione	85
7.2.2.5	Definizione dei punti di calcolo	86
7.2.3	I RISULTATI DELL'ANALISI ALLO STATO DI PROGETTO	87
7.2.3.1	Aspetti generali	87
7.2.3.2	L'analisi delle Concentrazioni di NO _x sui recettori	88
7.2.3.3	L'analisi delle Concentrazioni di NO ₂ sui recettori	88
7.2.3.4	L'analisi delle Concentrazioni di PM10 sui recettori	88

	7.2.3.5	L'analisi delle Concentrazioni di CO sui recettori	89
	7.2.3.6	L'analisi delle Concentrazioni di C ₆ H ₆ sui recettori	90
8		LE INTERFERENZE IN FASE DI CANTIERE	90
	8.1	ASPETTI GENERALI	90
	8.2	LA STIMA DELLE POLVERI PRODOTTE DALLE ATTIVITÀ DI CANTIERE	91
	8.2.1	INPUT TERRITORIALI	91
	8.2.1.1	I dati meteorologici	91
	8.2.1.2	I dati orografici	93
	8.2.1.3	La metodologia del worst case scenario	93
	8.2.1.4	La definizione degli scenari di simulazione	94
	8.2.1.5	La metodologia per il calcolo dei fattori di emissione	97
	8.2.1.6	I fattori di emissione relativi alla formazione e stoccaggio dei cumuli	97
	8.2.1.7	Le sorgenti lineari	101
	8.2.1.8	Sintesi fattori di emissione per ogni sorgente	102
	8.2.1.9	La modellazione delle sorgenti in Aermid View	102
	8.2.2	OUTPUT DELLE SIMULAZIONI	105
	8.2.2.1	L'analisi delle Concentrazioni di PM ₁₀ sui ricettori	105
	8.2.2.2	L'analisi delle Concentrazioni di NO ₂ sui ricettori	106
	8.2.2.3	L'analisi delle concentrazioni di NO _x sui ricettori	106
	8.3	BEST PRACTICE DA ADOTTARE DURANTE LA FASE DI CANTIERE	107
9		CONCLUSIONI DELLO STUDIO	108
	9.1	CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI ESERCIZIO	108
	9.2	CONCLUSIONI IN MERITO ALLA FASE DI CANTIERE	108

1 INTRODUZIONE

Il presente studio atmosferico, condotto nell'ambito della progettazione del 1° Stralcio funzionale di completamento della S.S. 675 "Umbro Laziale" – Sistema infrastrutturale del collegamento del Porto di Civitavecchia con il nodo intermodale di Orte, si estende tra il svincolo di Monte Romano Est (0 + 000 km) e Tarquinia (4 + 630 km), ha come scopo quello di stimare le concentrazioni di inquinanti generate dalla realizzazione dello progetto in esame, 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 sulla rete stradale di riferimento. Ciò che si vuole andare ad analizzare, pertanto, è l'incidenza del progetto in esame sulla qualità dell'aria, in modo da evidenziarne i benefici e/o gli aggravamenti in corrispondenza dei recettori puntuali.

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

Per quanto riguarda l'inquadramento meteo climatico dell'area, da un punto di vista storico, si è fatto riferimento ai dati forniti dall'Aeronautica Militare relativi alla stazione più vicina all'area di intervento e caratteristica del territorio in esame, rappresentata dalla centralina di Gioia del Colle. Per quanto riguarda, invece, i dati meteorologici utilizzati per le simulazioni modellistiche si è fatto riferimento a dati meteorologici dell'area di studio, relativi al 2021, ricavati dal bollettino METAR, che rappresenta un messaggio di osservazione in superficie di tipo aeronautico che viene emesso ogni mezz'ora oppure ogni ora a seconda del servizio della stazione.

Per analizzare lo stato attuale delle emissioni, invece, si è fatto riferimento all'Inventario Nazionale delle Emissioni in Atmosfera (INEA) ed in particolare al documento "Italian Emission Inventory 1990-2019. Informative Inventory Report 2021", 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 2019, suddivise per macro-attività, relativo ai seguenti inquinanti: ossidi di azoto (NO_x), particolato (PM₁₀ e PM_{2.5}) e monossido di carbonio (CO).

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

- Ossido di azoto (NO_x);
- Biossido di azoto (NO₂);
- Particolato PM10;

Al fine di caratterizzare al meglio la qualità dell'aria nella zona di intervento si è scelto di far riferimento alla centralina di qualità dell'aria della rete di monitoraggio regionale più vicina al progetto, situata presso il comune di Monte Romano, di tipo "urbana di fondo". Da tale centralina è stato possibile analizzare i valori di concentrazione degli inquinanti monitorati, caratterizzati da NO_x, NO₂ e PM10.

Attraverso l'elaborazione dei dati rilevati dalla centralina di monitoraggio scelta, è stato individuato il valore di fondo di qualità dell'aria per ogni inquinante analizzato (valore di concentrazione per ogni inquinante monitorato, relativo alla media annua del 2021). Il valore di fondo, sommato ai valori stimati di concentrazione, generati dal traffico veicolare attuale, consente di determinare il valore complessivo di qualità dell'aria, attualmente presente sul territorio.

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 ad un unico scenario di progetto, nell'ipotesi di completamento della Tratta Monte Romano Est – Civitavecchia. Nello specifico, lo scenario di progetto preso in considerazione per le simulazioni è riferito all'anno 2040:

Per lo scenario di progetto, attraverso l'utilizzo del software Copert 5, sono stati calcolati i fattori di emissione sugli archi del tratto stradale, 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 recettori puntuali.

Per ogni recettore, 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 polverulente di PM10 e di PM2,5 generate dalle lavorazioni legate alla movimentazione del materiale, nonché le concentrazioni di NO_x, NO₂, PM10 e PM2,5 generate dai traffici di cantiere, attraverso l'uso del software Calroads.

In particolare, è stato definito un unico scenario di riferimento per cui sono state definite le sorgenti areali da modellare all'interno del software di simulazione e sono stati stimati i fattori di emissione relativi alla singola attività prevista con riferimento alle "Linee Guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti" di ARPA Toscana. 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 NO_x, NO₂, PM10 e PM2,5 per la situazione critica 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 recettori più vicini alle aree di lavorazione e alla viabilità di cantiere i valori rientrano nei limiti normativi.

Alla luce di quanto fin qui sinteticamente esposto, il presente documento è volto alla stima delle concentrazioni degli inquinanti di interesse generati dalla fase di esercizio e dalla fase di cantiere del progetto in esame relativo al completamento del 1° stralcio funzionale tra gli svincoli di Monte Romano Est e Tarquinia, dal km 0+000 al km 4 + 630.

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 dell'1 ottobre 2002 individua le modalità di valutazione preliminare della qualità dell'aria lì dove mancano i dati e i criteri per l'elaborazione di piani e programmi per il raggiungimento dei limiti previsti nei tempi indicati dal D.M. 60/2002;
- Il D. Lgs. 183 del 21 maggio 2004, recepisce la direttiva europea 02/03/CE riguardante l'ozono in atmosfera (terza direttiva figlia), in particolare indica "valori bersaglio" da raggiungere entro il 2010, demanda a Regioni e Province autonome la definizione di zone e agglomerati in cui la concentrazione di ozono superi il valore bersaglio; per tali zone dovranno essere adottati piani e programmi per il raggiungimento dei valori bersaglio. Piani e programmi dovranno essere redatti sulla base delle indicazioni del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. La normativa riporta anche valori a lungo termine (al disotto dei quali non ci si attende alcun effetto sulla salute), soglie di informazione (valori al di sopra dei quali possono esserci rischi per gruppi sensibili) e soglie di allarme (concentrazioni che possono determinare effetti anche per esposizioni a breve termine);
- Il D. Lgs. 171 del 21 maggio 2004, recepisce la direttiva europea 2001/81/CE, riguardante i limiti massimi per le emissioni annue degli Stati membri, individua gli strumenti per assicurare che le emissioni nazionali annue per il biossido di zolfo, per gli ossidi di azoto, per i composti volatili e per l'ammoniaca, rispettino entro il 2010 e negli anni successivi i limiti nazionali di emissione;
- Il D.Lgs. 152/2007 (che recepisce la direttiva 2004/107/CE) è l'ultima norma figlia emanata e si riferisce ad un gruppo di inquinanti (l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), per cui non è ancora possibile una misura in continuo e che si trovano prevalentemente all'interno del particolato sottile. Anche in questo caso vengono stabiliti i limiti di qualità dell'aria, le modalità di misura e le informazioni da fornire al pubblico.

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

Il **D.lgs. 155/2010**, "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", recepisce la Direttiva 2008/50/CE 107/CE. Quest'unica norma sostituisce sia la legge quadro (DL 351/99) sia i decreti attuativi (che fornivano modalità di misura, indicazioni sul numero e sulla collocazione delle postazioni di monitoraggio, limiti e valori di riferimento per i diversi inquinanti), ribadendo i fondamenti del controllo dell'inquinamento atmosferico e i criteri di monitoraggio ed introducendo, in base alle nuove evidenze epidemiologiche, tra gli inquinanti da monitorare anche il $PM_{2.5}$, ormai ben noto per la sua pericolosità.

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

Inquinante	Indicatore Normativo	Periodo di mediazione	Valore stabilito	Margine tolleranza	n° sup. consentiti
Biossido di Zolfo 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	-	-
	Livelli critici per la vegetazione	anno civile e inverno	20 µg/m ³	-	-
Biossido di azoto NO ₂	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 PM ₁₀	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	-	-

Inquinante	Indicatore Normativo	Periodo di mediazione	Valore stabilito	Margine tolleranza	n° sup. consentiti
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

3.1 IL DATO STORICO: ANDAMENTO 1971-2000

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

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

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

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

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

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

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

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

Simbolo	Descrizione	U. M.
HH	Orario	UTC
MM	Mese	
Calme	Percentuali dei casi di vento con intensità = 0 nodi	%
N1-10	Percentuali dei casi di vento da Nord con intensità tra 1 e 10 nodi	%
N11-20	Percentuali dei casi di vento da Nord con intensità tra 11 e 20 nodi	%
N>20	Percentuali dei casi di vento da Nord con intensità superiore a 20 nodi	%
NE1-10	Percentuali dei casi di vento da Nord-Est con intensità tra 1 e 10 nodi	%
NE11-20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Est con intensità tra 11 e 20 nodi	%
NE>20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Est con intensità superiore a 20 nodi	%
E1-10	Percentuali dei casi di vento da Est con intensità tra 1 e 10 nodi	%
E11-20	Percentuali dei casi di vento da Est con intensità tra 11 e 20 nodi	%
E>20	Percentuali dei casi di vento da Est con intensità superiore a 20 nodi	%
SE1-10	Percentuali dei casi di vento da Sud-Est con intensità tra 1 e 10 nodi	%
SE11-20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Est con intensità tra 11 e 20 nodi	%
SE>20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Est con intensità superiore a 20 nodi	%

Simbolo	Descrizione	U. M.
S1-10	Percentuali dei casi di vento da Sud con intensità tra 1 e 10 nodi	%
S11-20	Percentuali dei casi di vento da Sud con intensità tra 11 e 20 nodi	%
S>20	Percentuali dei casi di vento da Sud con intensità superiore a 20 nodi	%
SW1-10	Percentuali dei casi di vento da Sud-Ovest con intensità tra 1 e 10 nodi	%
SW11-20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Ovest con intensità tra 11 e 20 nodi	%
SW>20	Percentuali dei casi di vento da Sud-Ovest con intensità superiore a 20 nodi	%
W1-10	Percentuali dei casi di vento da Ovest con intensità tra 1 e 10 nodi	%
W11-20	Percentuali dei casi di vento da Ovest con intensità tra 11 e 20 nodi	%
W>20	Percentuali dei casi di vento da Ovest con intensità superiore a 20 nodi	%
NW1-10	Percentuali dei casi di vento da Nord-Ovest con intensità tra 1 e 10 nodi	%
NW11-20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Ovest con intensità tra 11 e 20 nodi	%
NW>20	Percentuali dei casi di vento da Nord-Ovest con intensità superiore a 20 nodi	%
Vxx	Intensità massima del vento	KT

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

Come centralina di riferimento per l'analisi meteorologica è stata scelta la stazione più prossima alla zona soggetta a studio e che garantisse i dati previsti per l'analisi. Nella fattispecie, è stata scelta la stazione meteorologica presente nell'Aeroporto di Viterbo "Tommaso Fabbri", distante circa 20km dall'area di intervento.

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

- Lat: 40.76
- Lng: 16.93

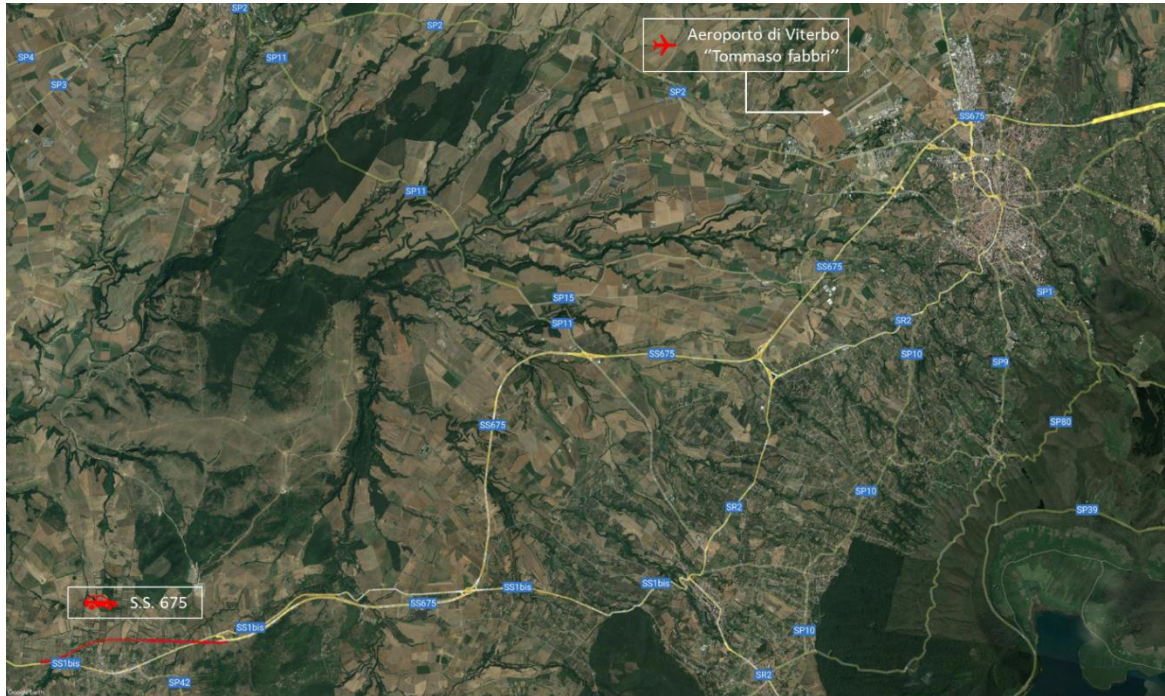


Figura 3-1 Stazione Meteorologica di riferimento- Gioia del colle e in giallo SS92 (Fonte: Atlante Climatico Aeronautica Militare)

3.1.1 REGIME TERMICO

Il primo aspetto analizzato nella trattazione del dato storico riguarda il regime termico. La Tabella 3-4 riporta i dati principali circa le temperature nei tre decenni di analisi.

Mese	Tm	Tx1d	Tx2d	Tx3d	Txm	Tn1d	Tn2d	Tn3d	Tnm	TxP85-15	TnP85-15
Gen	5,5	9,6	10,1	10,7	10,2	0,6	0,7	1,3	0,9	6,0	7,6
Feb	6,4	11,5	11,0	11,8	11,4	1,4	1,3	1,4	1,4	7,0	7,2
Mar	8,4	12,7	14,2	14,9	14,0	1,9	2,6	3,6	2,7	6,9	6,4
Apr	10,5	16,0	15,6	17,4	16,3	4,6	4,1	5,5	4,7	7,1	6,6
Mag	15,1	19,8	21,7	23,1	21,6	7,4	8,6	9,5	8,6	7,9	6,2
Giu	19,0	25,0	25,6	27,3	26,0	11,3	11,8	12,8	12,0	7,6	5,6
Lug	22,2	28,8	29,7	30,5	29,7	14,2	14,7	15,3	14,8	6,2	5,3
Ago	22,7	31,2	30,7	28,3	30,0	15,8	15,8	14,7	15,5	7,5	4,8
Set	19,0	26,5	25,6	24,0	25,3	13,2	12,8	12,1	12,7	7,5	5,2
Ott	14,3	21,4	20,1	17,7	19,6	10,4	9,5	7,4	9,0	7,1	7,4
Nov	9,3	16,1	14,0	12,0	14,0	6,0	4,7	3,0	4,6	7,2	7,9
Dic	6,4	11,1	11,0	10,3	10,8	2,5	2,1	1,7	2,1	6,7	8,2
Mese	NgTn≤0	NgTn≤-5	NgTx≥25	NgTx≥30	GrGi>0	GrGi>5	GrGi_18	Txx	AnTx	Tnn	AnTn

Gen	12,4	1,3	0,0	0,0	176	26	390	18,0	1971	-12,7	1985
Feb	9,4	0,7	0,0	0,0	182	42	331	20,3	1990	-10,2	1991
Mar	5,6	0,7	0,0	0,0	257	105	297	26,5	1991	-9,2	1971
Apr	2,1	0,0	0,1	0,0	319	168	226	25,5	2000	-3,4	1995
Mag	0,0	0,0	5,9	0,0	470	314	98	31,0	1979	1,4	1991
Giu	0,0	0,0	18,5	4,0	552	406	20	34,9	1982	4,4	1974
Lug	0,0	0,0	28,8	15,2	688	533	1	39,4	1983	7,1	1975
Ago	0,0	0,0	27,7	16,0	684	534	2	38,4	1981	8,4	1995
Set	0,0	0,0	17,4	2,0	572	421	20	36,8	1975	3,1	1977
Ott	0,1	0,0	2,1	0,0	447	291	119	28,1	1988	-1,1	1974
Nov	3,5	0,3	0,0	0,0	281	131	262	22,2	1971	-11,2	1973
Dic	9,4	0,7	0,0	0,0	202	48	362	19,6	1979	-11,8	1996

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

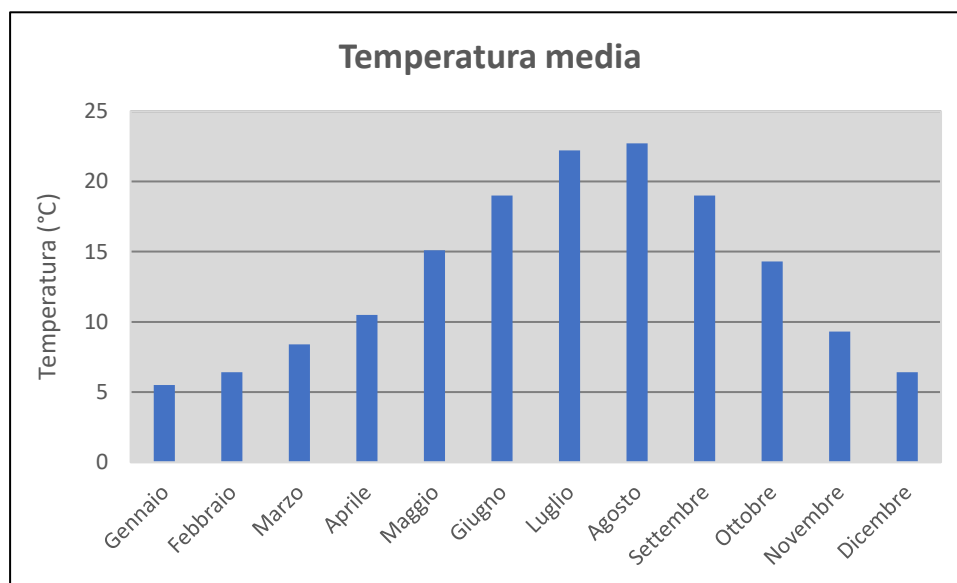


Figura 3-2 Temperatura media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Facendo riferimento alla temperatura media mensile registrata nei tre decenni, è possibile notare come i valori siano compresi tra i 5,5°C e 22,7°C, rispettivamente ottenuti per i mesi di gennaio e agosto.

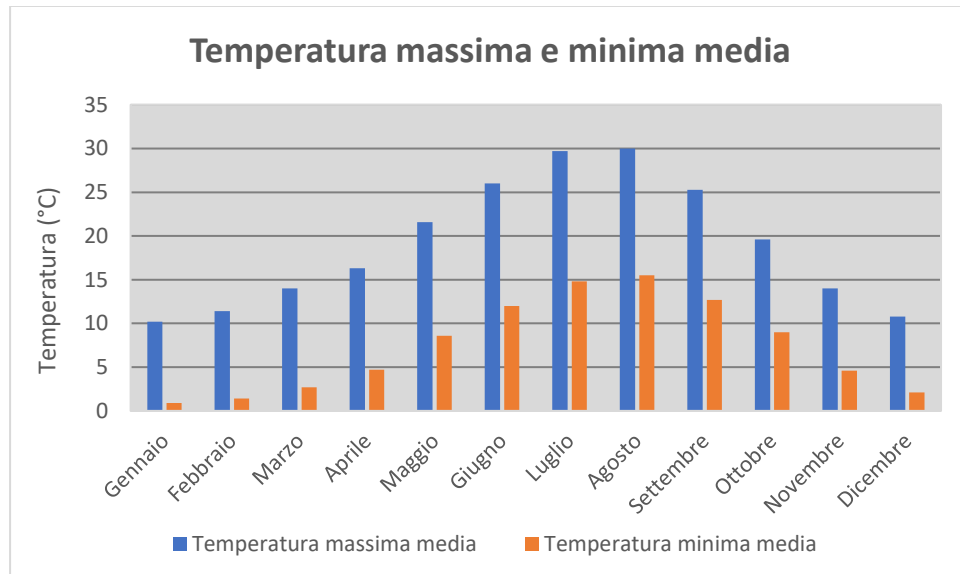


Figura 3-3 Temperatura massima e minima media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Analizzando la Figura 3-3 si può osservare come il trend dei valori massimi e minimi medi mensili abbia lo stesso andamento. In particolare, la temperatura media massima è riportata nei mesi di luglio e agosto, in cui si riportano rispettivamente 29,7°C e 30°C; viceversa, i mesi con le temperature minime medie risulta essere gennaio con 0,9°C.

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

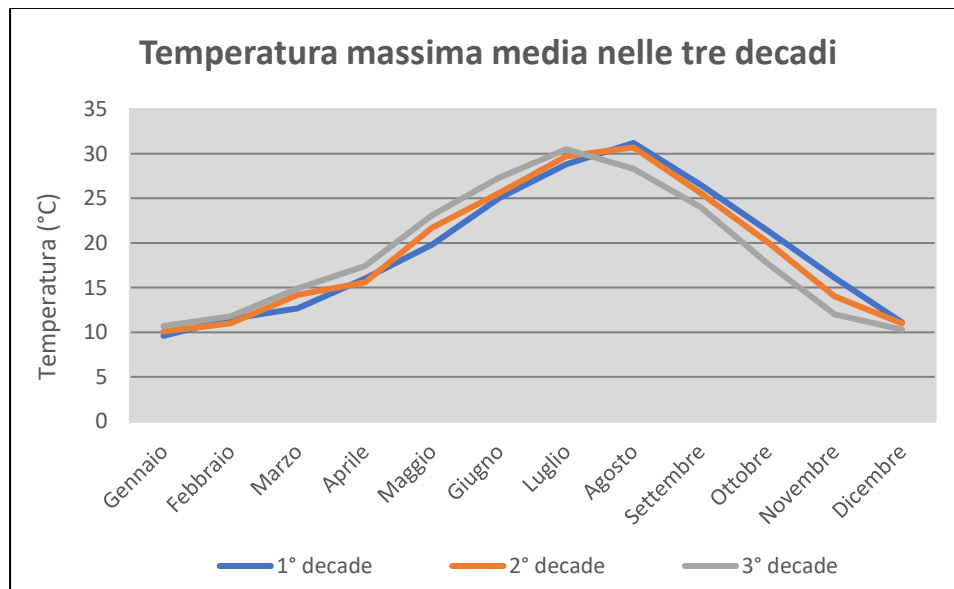


Figura 3-4 Temperatura massima media suddivisa per decadi (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Dalla Figura 3-4 si può notare nel corso dei decenni, un'inversione del trend delle temperature con un anticipo delle temperature massime di circa un mese. La linea grigia, infatti, rappresentativa della terza decade, raggiunge valori più elevati delle altre due curve nei mesi compresi tra febbraio e luglio. Nei mesi da agosto a dicembre si registra, invece, un trend opposto con il valore della temperatura massima sempre inferiore a quello delle altre due decadi. Nell'ultima decade di analisi il mese con la temperatura massima media più elevata risulta luglio con un valore di 30,5 °C.

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

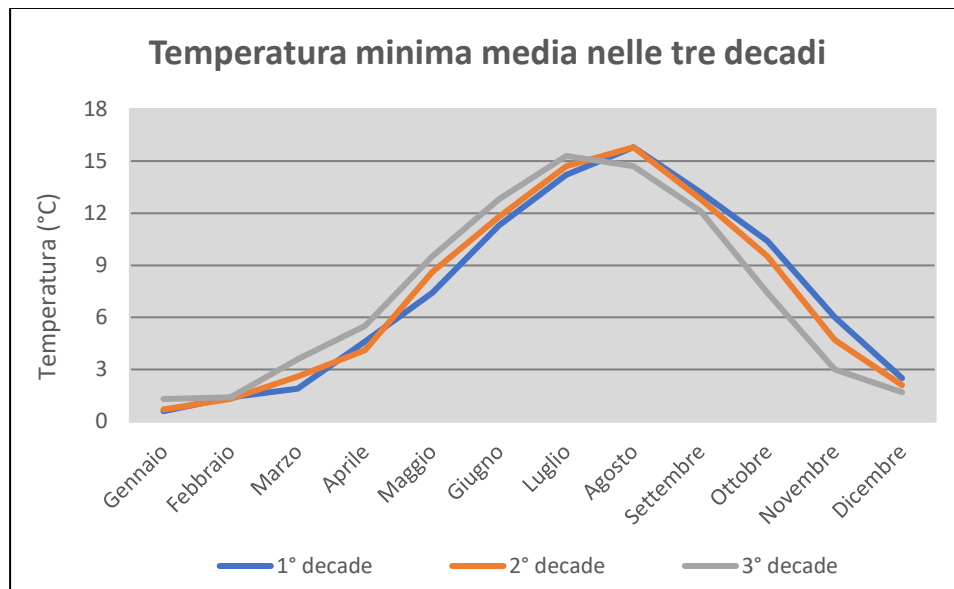


Figura 3-5 Temperatura minima media suddivisa per decadi (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

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

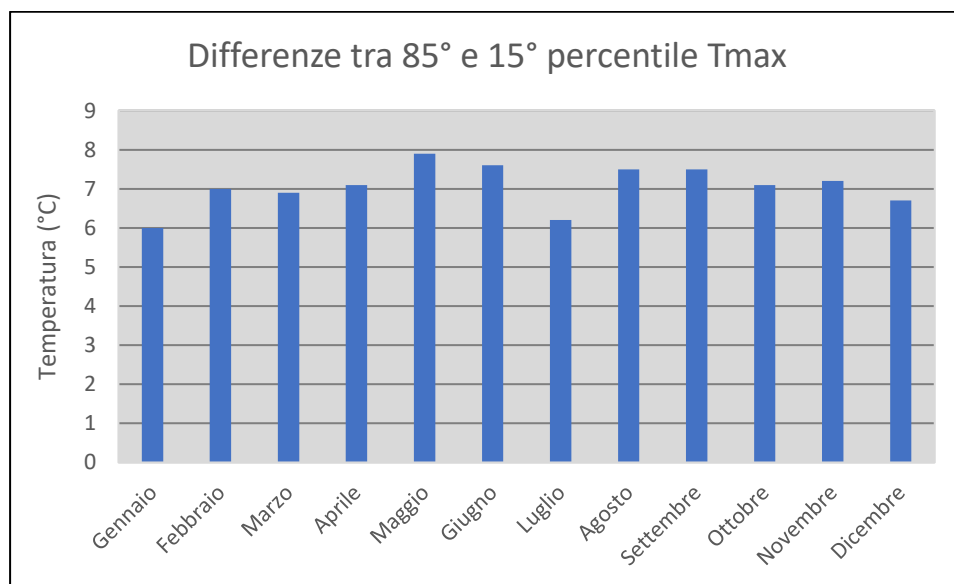


Figura 3-6 Differenza 85 - 15 percentile temperatura massima (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

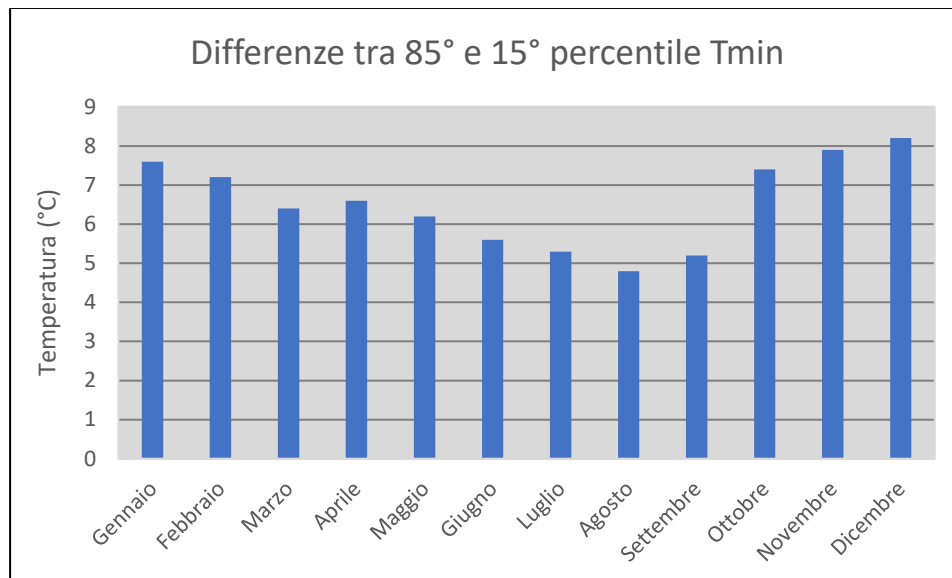


Figura 3-7 Differenza 85 – 15 percentile temperatura minima (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Dall'analisi delle temperature massime si può notare come il delta sia abbastanza costante ed oscilla intorno ad un valore di 7 °C. Con riferimento alla temperatura minima invece, si può evidenziare un trend in cui il minimo del delta è rappresentato dai mesi estivi, il cui valore è prossimo ai 5°C, mentre il massimo valore si ha nei mesi invernali con il delta massimo registrato nel mese di dicembre e gennaio e pari a circa 8°C.

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

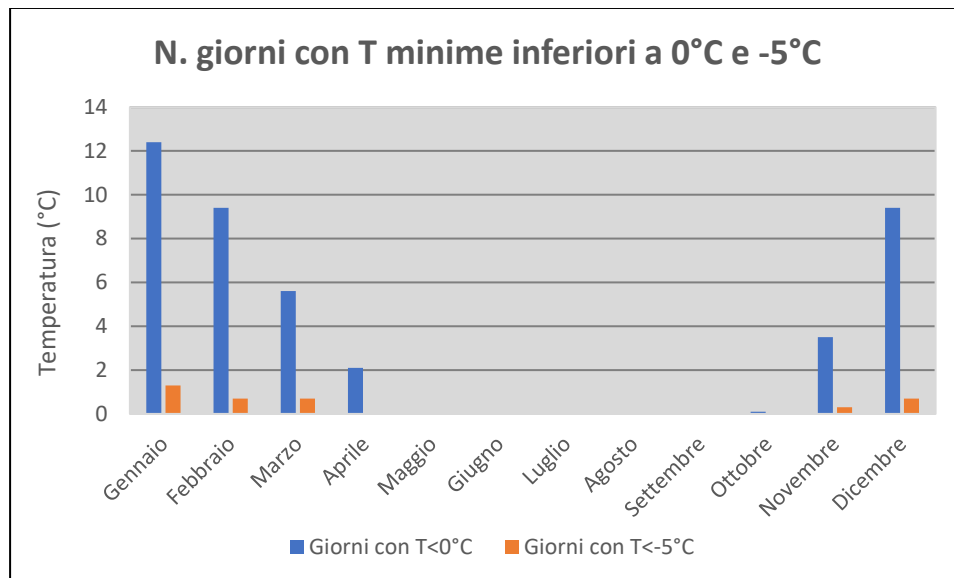


Figura 3-8 N° giorni con temperature minime inferiori a 0° e a -5° (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

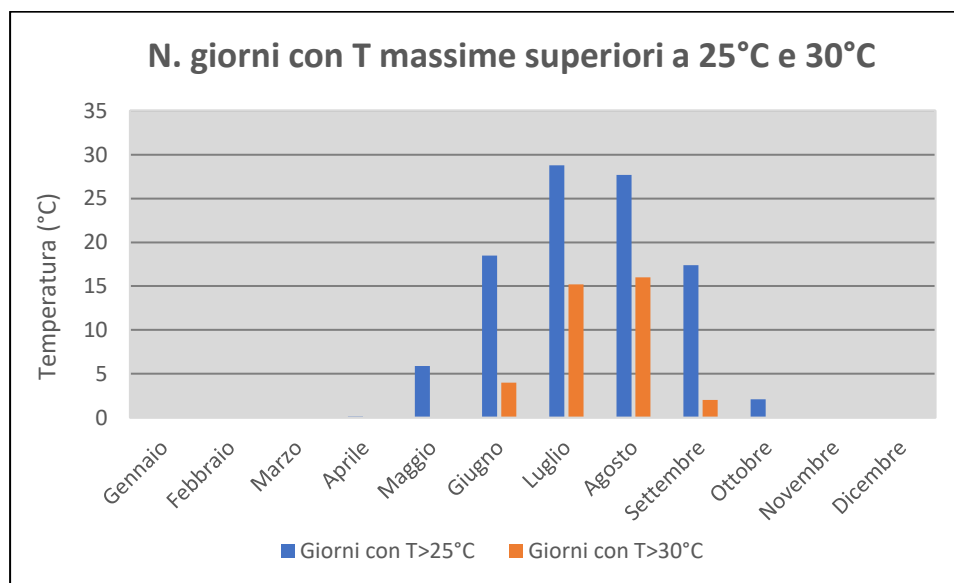


Figura 3-9 N° giorni con temperature massime superiori a 25° e 30° (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Con riferimento alle figure soprastanti è possibile verificare come le temperature inferiori ai -5 °C siano registrate solo nei mesi invernali di gennaio, febbraio, marzo, novembre e dicembre.

Per quanto riguarda le temperature massime, invece, si registrano superamenti della soglia di 30 °C nei mesi estivi da giugno a settembre, mentre i superamenti della soglia di 25 °C sono presenti su un arco maggiore che va da maggio ad ottobre.

L'ultimo aspetto riguarda l'analisi dei giorni in cui si sono verificati i massimi ed i minimi assoluti rispetto al periodo di riferimento dell'Atlante Climatico. È possibile notare come, sia rispetto alle temperature massime che minime, la distribuzione nelle tre decadi (1971 – 1980; 1981 – 1990; 1991 – 2000) risulta essere dispersa.

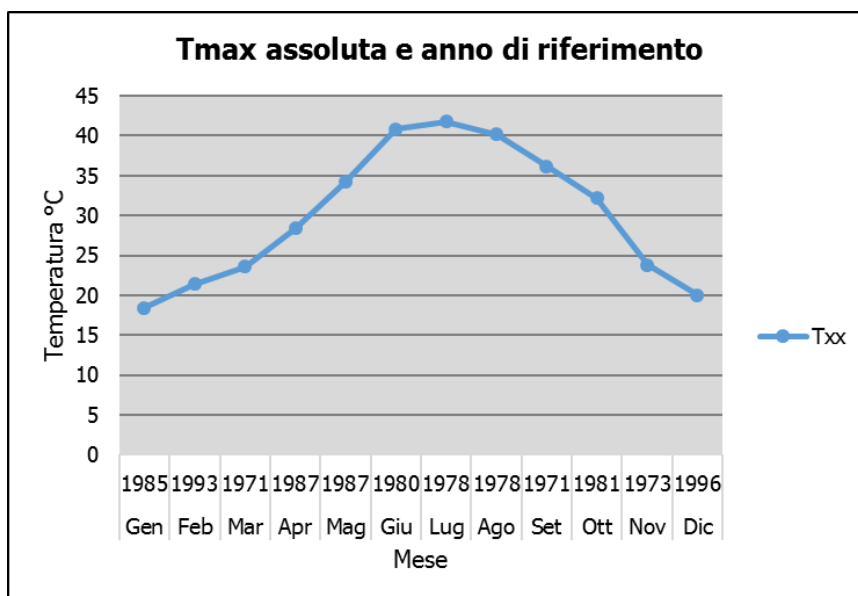


Figura 3-10 Temperatura massima assoluta ed anno di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

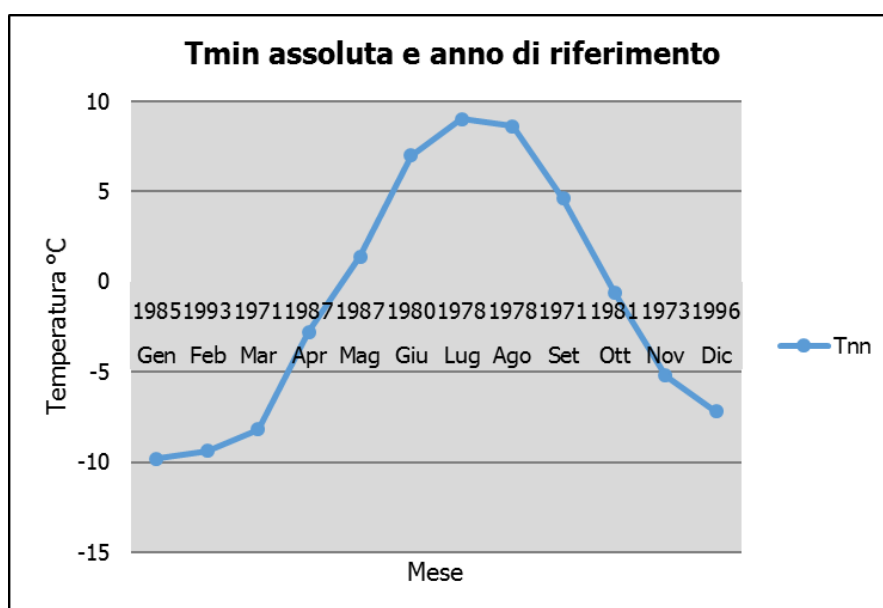


Figura 3-11 Temperatura minima assoluta ed anno di riferimento (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

3.1.2 REGIME PLUVIOMETRICO

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

Mese	RTot	RQ0	RQ1	RQ2	RQ3	RQ4	RQ5	Rx12a	Rx12b	Rx24	AnRx24
Gen	50.2	4.2	13.1	29.9	39.5	71.5	139.5	37.6	51.6	70	1978
Feb	71.2	2.2	18.4	36.8	72.2	114.1	226.1	43.4	35.4	51.8	1984
Mar	60.5	1.4	20.2	49.1	64.8	82.5	149.1	38.4	66.8	76.6	1988
Apr	45.7	6.4	23.9	33.4	49.1	66	106.7	20	33.8	33.8	1978
Mag	43.4	10.2	19.7	30.4	43.7	64.1	140.2	45.2	38.4	49.2	2000
Giu	29.5	0.1	7	13	25.2	50.6	120	12.8	67.4	67.4	1989
Lug	23.6	0	2.1	9.3	17.6	45	96.6	36.8	43	45	1986
Ago	32.2	0	1.9	11.6	36.8	61.5	109.7	54.6	41.8	54.6	1980
Set	45.4	0	6	29.8	55.2	76.3	136.4	57.2	92.8	93	1991
Ott	67.7	6.7	29.4	48.8	60.2	90.2	174.2	104.4	48.8	110.2	1985
Nov	67	12.8	23.4	40.6	60.4	108.3	156.7	53.4	57	61	1990
Dic	60.1	5.4	34.1	46.7	59.1	84.1	193.5	34.4	49.8	65	1983
Mese	NgR>1	NgR>5	NgR>10	NgR>50	NgFog	Ux%	Un%	Ngh6Nuv≤4	Ngh6Nuv>4	Ngh18Nuv≤4	Ngh18Nuv>4
Gen	6.7	2.7	1.5	0.1	9.2	95	62	13.9	17	14.1	16.9
Feb	7.8	3.6	2.2	0	6.4	95	55	12.6	15.6	13.1	15.1
Mar	7.3	3.5	2	0.1	7.3	95	51	13.6	17.3	13.2	17.7
Apr	6.5	3.1	1.4	0	5.9	94	46	14	17	14.3	16.7
Mag	5.8	2.8	1.5	0	3.4	94	42	17.7	13.3	14.4	16.6
Giu	3.6	1.6	0.8	0	1.8	92	34	21.1	8.7	18.9	10.9
Lug	2.7	1.5	0.7	0	0.5	89	33	26.3	4.6	24.3	6.6
Ago	3.3	1.9	1.1	0	2.4	91	35	25.4	5.5	23.5	7.4
Set	4.8	2.5	1.4	0.1	4.9	94	43	19.6	10.4	19.6	10.3
Ott	7.1	3.8	2.2	0	9.9	95	55	14.4	16.6	16.9	14
Nov	8.1	3.9	1.8	0.1	9.9	96	63	12.8	17.2	14.8	15.2
Dic	7.4	3.5	1.6	0.1	10.8	96	64	13.4	17	15.2	15.4

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

Il primo aspetto di analisi fa riferimento alla precipitazione totale media mensile registrata dalla stazione di riferimento in termini di millimetri, così come riportato in Figura 3-12.

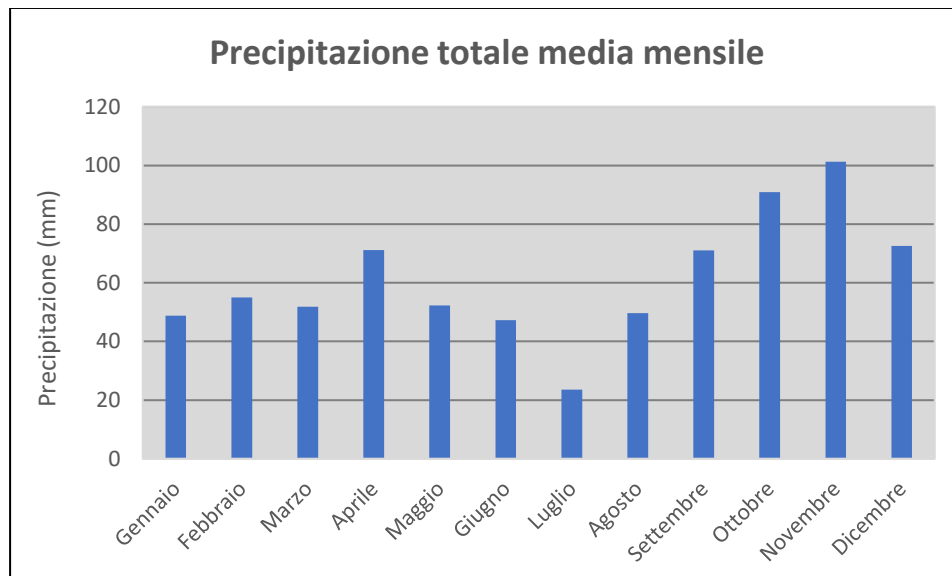


Figura 3-12 Precipitazione totale media mensile (Fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

È possibile notare come il mese con la media mensile più elevata, in termini di precipitazione totale media mensile, sia novembre con 101,3 mm; viceversa, il mese più secco risulta essere luglio in cui la piovosità è molto ridotta ed ha una media mensile di 23,6 mm.

Al fine di avere una valutazione quantitativa della distribuzione delle precipitazioni nei diversi mesi è possibile fare riferimento alla Figura 3-13.

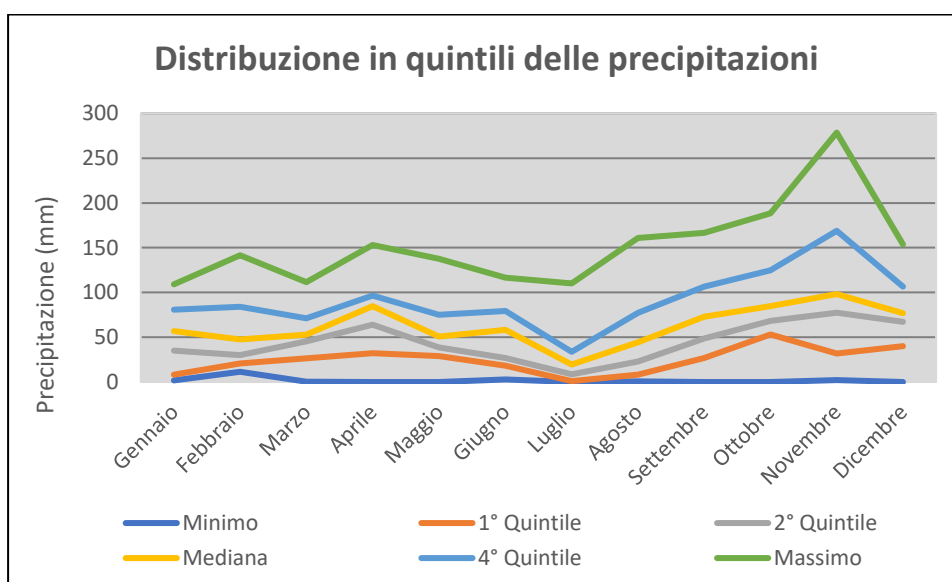


Figura 3-13 Distribuzione in quintili delle precipitazioni mensili (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

In termini quantitativi è possibile notare un delta marcato tra il quarto quintile e il massimo, mentre si ha un delta meno marcato tra il minimo e il primo quintile. È inoltre possibile valutare la divisione delle precipitazioni massime con riferimento a due intervalli temporali differenti (00 – 12; 12 – 24), così come definito nella

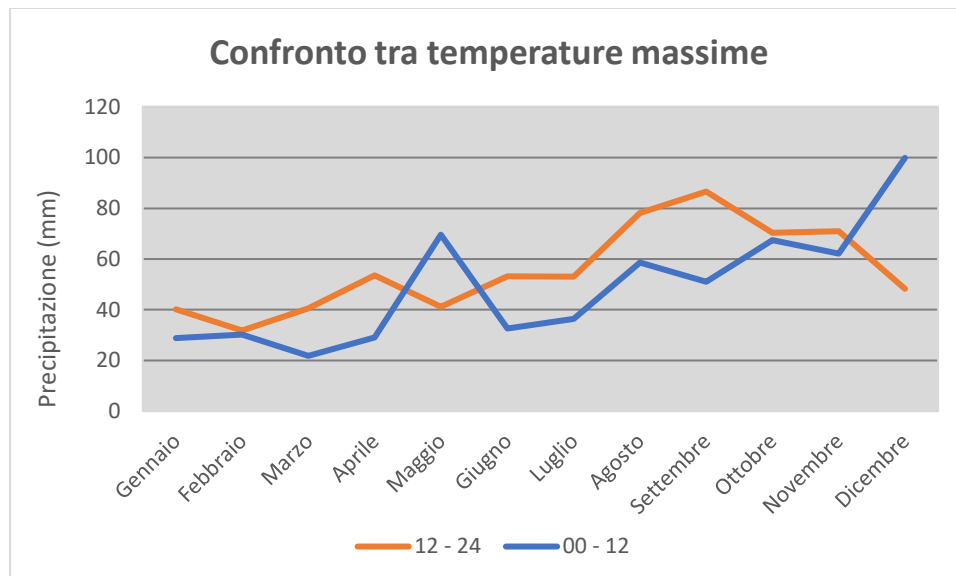


Figura 3-14 Precipitazioni massime negli intervalli 00 – 12 e 12-24 (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

E' possibile notare come i due periodi di riferimenti abbiano un andamento molto simile, ad eccezione dei mesi di maggio e dicembre. Il mese che registra il massimo di pioggia nel periodo 00 – 12 risulta essere dicembre con 1000mm, mentre per il secondo periodo il massimo viene raggiunto nel periodo di ottobre, con un massimo di precipitazione di 86mm circa.

Di seguito viene riportata la distribuzione dei massimi nelle 24 e l'anno associato rispetto al periodo 1971 – 2000.

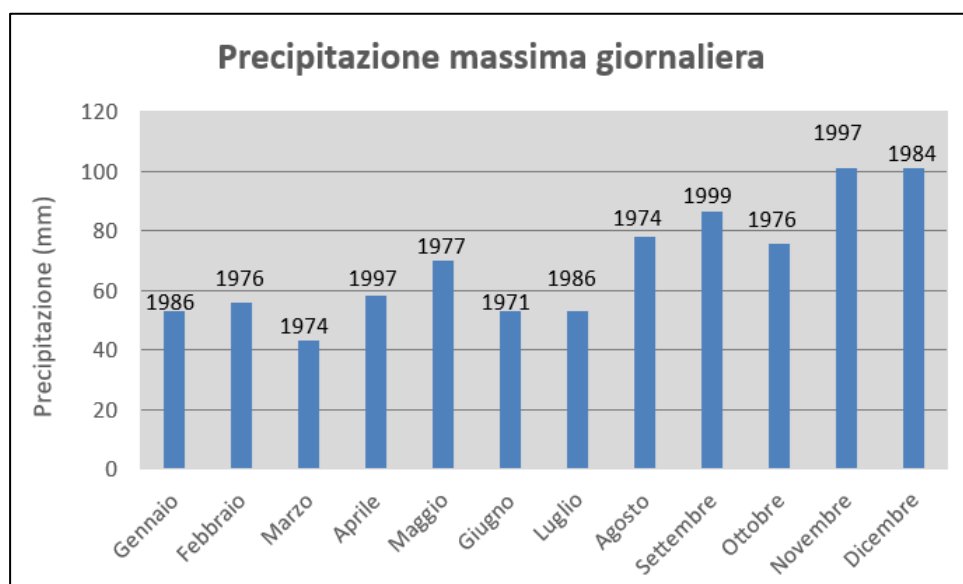


Figura 3-15 Precipitazioni massime nelle 24h e anno di occorrenza (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

In ultimo, in analogia a quanto visto per le temperature, anche per il regime pluviometrico è stata effettuata un'analisi circa il numero in cui si verifica il superamento di determinati valori soglia. Nel caso in esame, riportato in Figura 3-16, vengono riportati il numero medio di giorni con precipitazioni superiori a 1, 5, 10 e 50 mm.

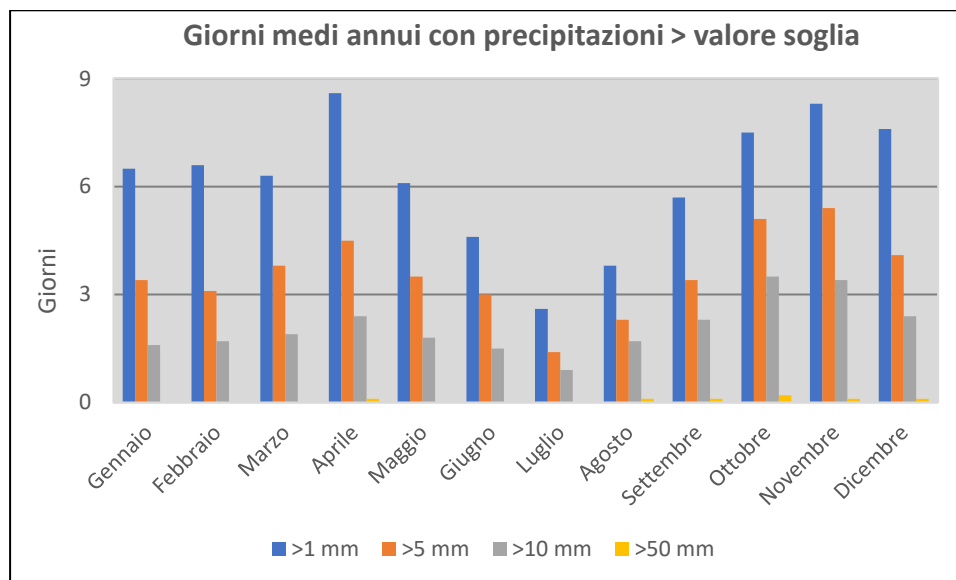


Figura 3-16 N° di giorni medio al mese con precipitazioni superiori a 1, 5 10 e 50 mm di precipitazioni (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Dall'analisi di tali dati è possibile evidenziare come il mese di aprile risulta essere quello in cui si concentrano maggiormente eventi di precipitazioni giornaliere di almeno 1mm, mentre per quanto riguarda la soglia più elevata (50 mm) i superamenti sono stati riscontrati con un valore medio di 0,2 giorni per il mese di ottobre.

La Figura 3-17 mostra invece i giorni medi mensili in cui si registra nebbia. È possibile osservare come nei mesi di novembre e dicembre si ha un valore elevato, con circa 6 giorni per entrambi i mesi; viceversa, nei mesi estivi tale valore scende, arrivando a 2 giorni al mese.

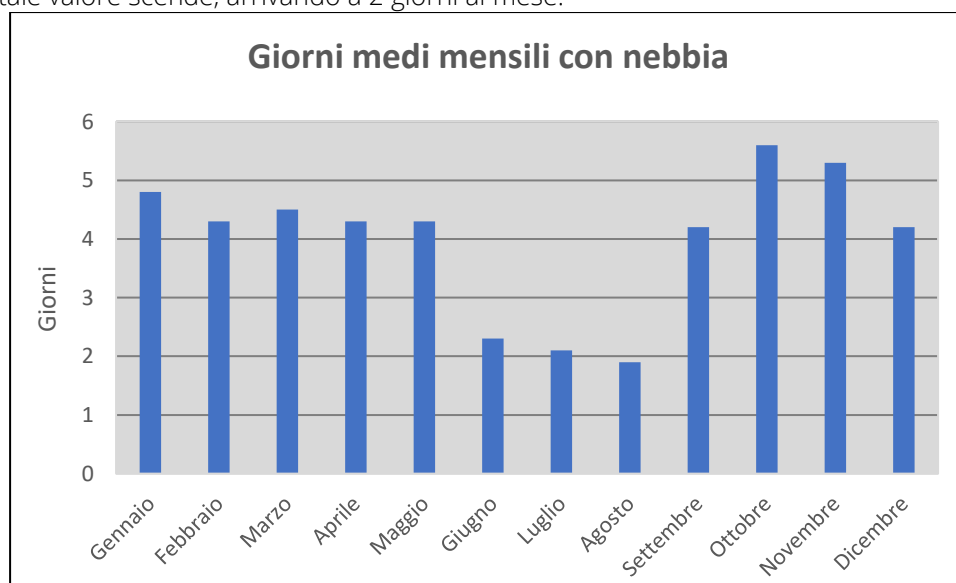


Figura 3-17 Numero di giorni medio al mese con presenza di nebbia (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Per quanto riguarda invece l'umidità percentuale media mensile massima e minima, entrambe rappresentate in Figura 3-18, si nota come il primo parametro sia prossimo alla saturazione e compreso tra l'89% e il 92%. Con riferimento al secondo parametro, invece, il delta risulta più marcato rispetto alla situazione precedente, variando tra il 33% nei mesi estivi di luglio e agosto e il 61% per il mese di dicembre.

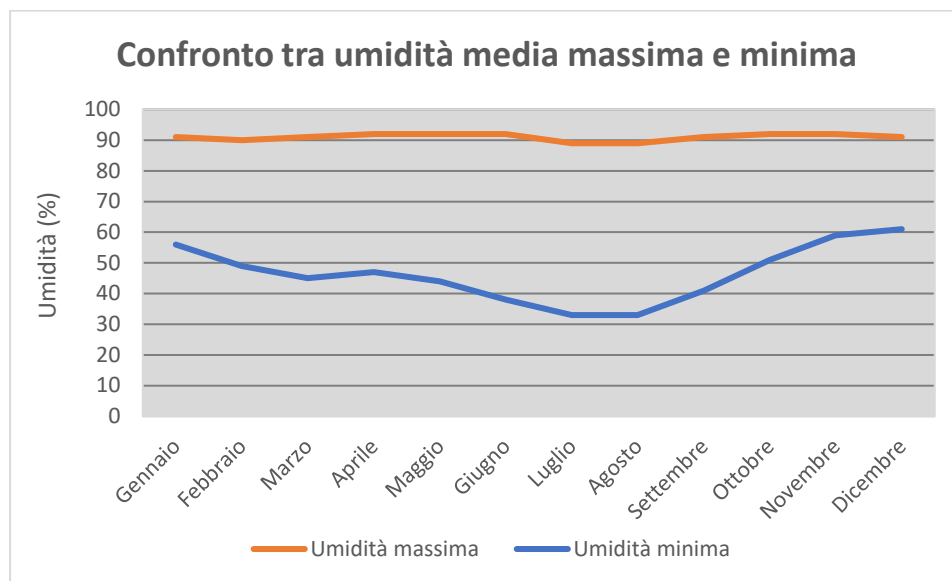


Figura 3-18 Media mensile dell'umidità percentuale massima e minima (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

L'ultima analisi correlata allo stato pluviometrico riguarda la nuvolosità. Nello specifico, tale aspetto viene analizzato facendo riferimento al numero di giorni in cui la copertura nuvolosa, espressa in ottavi risulta essere inferiore o superiore ai quattro ottavi.

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

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

Le risultanze sono riportate in figura Figura 3-19.

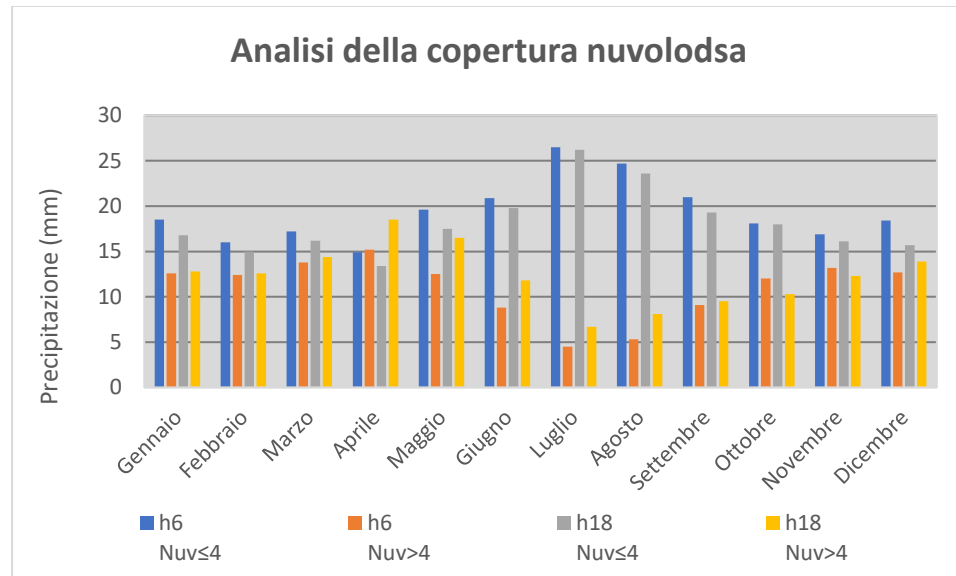


Figura 3-19 Analisi della copertura nuvolosa (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Si può evincere come durante i mesi la nuvolosità è maggiore nei mesi invernali, subendo una diminuzione in corrispondenza del trimestre luglio – settembre.

3.1.3 REGIME ANEMOMETRICO

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

HH00

Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	27,29	4,48	1,95	0,39	20,47	20,27	1,75	3,51	1,56	0,00	1,36	1,56	0,19
Feb	24,38	6,04	1,88	0,00	22,71	21,04	1,88	3,54	1,04	0,00	1,88	0,83	0,21
Mar	33,13	5,59	1,60	0,20	21,96	13,97	1,20	2,59	1,40	0,00	1,00	0,60	0,00
Apr	40,17	6,69	2,30	0,00	16,74	9,41	0,84	3,56	0,84	0,00	1,05	1,05	0,00
Mag	43,12	5,87	0,20	0,00	25,51	8,91	0,00	2,83	0,40	0,00	1,01	0,40	0,00
Giu	40,97	11,34	0,00	0,00	21,30	5,09	0,00	3,47	0,00	0,00	3,47	0,23	0,00
Lug	40,30	8,21	0,75	0,00	28,86	6,22	0,00	3,73	0,00	0,00	2,24	0,00	0,00
Ago	44,42	6,20	0,50	0,00	28,54	6,95	0,00	3,72	0,25	0,00	1,99	0,25	0,00
Set	33,51	7,22	0,26	0,00	29,90	10,05	0,52	2,84	0,77	0,00	3,09	0,77	0,00
Ott	24,94	6,98	1,00	0,00	24,69	20,20	1,25	2,99	0,75	0,00	2,24	0,25	0,00
Nov	24,48	7,03	1,56	0,52	25,26	19,01	0,78	2,08	0,00	0,00	1,82	1,56	0,26
Dic	25,23	4,63	1,62	0,46	22,92	22,69	2,31	2,31	1,16	0,00	1,16	0,46	0,00
Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	Vxx

HH00

Gen	4,87	7,02	0,39	0,39	0,97	0,00	0,39	0,58	0,00	0,19	0,00	0,00	50
Feb	5,21	5,42	0,00	2,08	0,42	0,00	0,00	0,21	0,00	0,83	0,21	0,00	56
Mar	7,19	5,19	0,00	1,60	0,80	0,00	1,00	0,40	0,00	0,20	0,00	0,00	51
Apr	7,74	4,60	0,21	1,67	1,26	0,00	1,05	0,00	0,00	0,21	0,21	0,00	50
Mag	4,45	1,82	0,00	2,02	1,62	0,00	0,81	0,20	0,00	0,61	0,00	0,00	56
Giu	8,56	3,01	0,00	1,62	0,23	0,00	0,46	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	72
Lug	3,23	1,49	0,00	3,48	0,25	0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	93
Ago	3,23	1,24	0,00	1,49	0,25	0,00	0,50	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	57
Set	5,41	2,32	0,26	1,55	0,77	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52
Ott	5,99	6,48	0,00	1,25	0,50	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51
Nov	4,43	7,55	0,00	1,04	2,08	0,00	0,26	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	70
Dic	4,40	5,09	0,00	2,08	1,39	0,69	0,23	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	55

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

HH06

Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	14,59	3,78	1,73	0,43	30,49	26,81	3,03	2,70	1,73	0,00	0,76	1,08	0,11
Feb	15,72	6,26	2,72	0,47	27,42	26,60	2,84	3,07	1,89	0,00	1,65	0,95	0,47
Mar	20,80	6,50	1,63	0,00	29,69	18,96	3,03	2,28	2,06	0,00	1,08	1,08	0,11
Apr	24,28	6,24	1,22	0,22	32,63	13,59	1,22	2,23	1,00	0,00	1,11	0,89	0,00
Mag	24,48	5,96	0,73	0,00	43,41	11,51	0,00	1,88	0,42	0,00	0,73	0,73	0,00
Giu	26,61	5,52	0,68	0,00	42,73	8,57	0,11	3,61	0,23	0,00	0,45	0,23	0,00
Lug	25,68	5,53	0,43	0,00	43,12	12,78	0,22	2,60	0,43	0,11	0,22	0,00	0,00
Ago	23,66	6,37	0,34	0,00	46,99	11,60	0,00	4,10	0,23	0,00	0,34	0,34	0,00
Set	22,72	5,57	0,33	0,22	39,31	15,92	0,45	2,90	1,00	0,00	1,11	0,33	0,00
Ott	17,65	4,36	1,23	0,11	35,31	20,89	1,45	4,02	1,34	0,00	0,78	1,56	0,11
Nov	15,14	4,68	1,45	0,33	31,96	23,61	1,22	2,67	1,34	0,00	1,45	1,78	0,00
Dic	11,64	3,77	2,59	0,22	32,00	25,97	3,23	2,16	0,97	0,00	1,08	0,65	0,11
Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	Vxx
Gen	4,43	5,30	0,22	0,76	0,76	0,11	0,43	0,32	0,00	0,11	0,00	0,00	
Feb	2,72	4,26	0,12	1,42	0,83	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12	0,12	0,00	
Mar	4,88	4,01	0,22	1,73	0,33	0,00	0,54	0,11	0,00	0,43	0,11	0,22	
Apr	6,01	5,23	0,22	1,56	0,78	0,00	0,56	0,22	0,00	0,56	0,11	0,00	
Mag	3,66	2,93	0,10	2,62	0,21	0,00	0,21	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	
Giu	4,28	2,59	0,00	2,48	0,23	0,00	0,79	0,11	0,00	0,23	0,00	0,00	
Lug	3,25	1,95	0,00	2,38	0,22	0,00	0,43	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	

HH06

Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Ago	1,59	1,37	0,11	1,93	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00
Set	3,90	2,23	0,00	2,45	0,45	0,00	0,45	0,00	0,00	0,22	0,11	0,00	0,00
Ott	3,80	5,14	0,00	1,01	0,45	0,11	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nov	4,45	6,46	0,33	1,22	0,78	0,33	0,22	0,22	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
Dic	5,06	6,79	0,43	0,75	1,19	0,11	0,43	0,22	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00

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

HH12

Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
Gen	8,86	2,59	2,16	0,97	24,86	23,14	6,05	1,73	0,97	0,00	1,51	1,62	0,22
Feb	11,12	2,60	3,67	1,89	18,58	22,01	5,09	1,78	0,36	0,00	1,42	0,95	0,12
Mar	9,95	4,32	3,14	1,62	12,32	11,89	5,08	1,84	0,43	0,00	1,30	1,41	0,11
Apr	8,71	4,58	3,57	0,22	8,15	9,49	3,57	1,34	0,33	0,00	2,01	1,56	0,22
Mag	6,56	5,10	2,29	0,21	8,84	8,32	0,42	0,62	0,10	0,00	1,14	0,31	0,00
Giu	5,74	3,27	1,58	0,23	8,67	4,95	0,23	2,03	0,23	0,11	1,24	0,68	0,00
Lug	5,30	4,65	1,41	0,11	8,55	7,79	0,32	3,35	0,54	0,00	1,73	0,22	0,00
Ago	7,60	4,54	1,47	0,00	10,66	6,35	0,23	2,61	0,68	0,00	1,25	0,45	0,00
Set	10,27	3,24	1,67	0,33	9,82	8,71	1,23	3,24	0,45	0,00	2,23	1,00	0,22
Ott	13,61	3,15	1,12	0,79	16,87	13,95	2,70	3,60	0,56	0,00	1,35	1,80	0,00
Nov	13,25	3,45	2,23	0,45	20,04	19,38	4,12	2,12	0,89	0,00	1,34	1,67	0,33
Dic	11,68	2,70	1,62	1,41	23,68	24,22	6,05	0,97	0,65	0,00	0,32	1,62	0,22

Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	Vxx
Gen	5,41	8,65	0,22	3,14	2,38	0,22	1,62	1,41	0,11	0,65	0,43	0,22	
Feb	4,97	9,35	0,47	4,38	3,55	0,59	3,91	1,18	0,12	0,24	0,71	0,00	
Mar	5,19	10,59	1,08	10,27	6,27	0,65	6,70	1,19	0,00	2,05	0,43	0,11	
Apr	5,36	9,71	0,89	10,49	11,50	0,67	9,38	2,79	0,11	1,90	0,67	0,00	
Mag	4,37	11,24	0,52	15,61	12,38	0,52	11,97	2,50	0,00	3,23	0,31	0,00	
Giu	6,64	9,23	0,45	17,57	13,18	0,11	10,70	3,72	0,00	3,15	0,79	0,00	
Lug	6,71	7,47	0,22	14,18	12,23	0,11	8,44	4,55	0,00	3,90	0,65	0,00	
Ago	5,78	6,46	0,11	15,08	12,13	0,23	12,02	3,63	0,00	2,15	0,68	0,11	
Set	8,15	9,71	0,45	14,40	7,81	0,33	6,81	2,12	0,00	2,68	0,33	0,11	
Ott	3,80	5,14	0,00	1,01	0,45	0,11	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Nov	4,45	6,46	0,33	1,22	0,78	0,33	0,22	0,22	0,00	0,22	0,00	0,00	
Dic	5,06	6,79	0,43	0,75	1,19	0,11	0,43	0,22	0,00	0,54	0,00	0,00	

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

HH18

Mese	Calme	N1-10	N11-20	N>20	NE1-10	NE11-20	NE>20	E1-10	E11-20	E>20	SE1-10	SE11-20	SE>20
------	-------	-------	--------	------	--------	---------	-------	-------	--------	------	--------	---------	-------

HH18													
Gen	30,01	4,44	2,40	0,60	20,77	13,21	3,72	2,28	0,24	0,00	2,04	1,92	0,12
Feb	30,08	3,21	2,06	0,90	10,80	18,51	2,57	1,29	0,51	0,00	1,67	0,90	0,00
Mar	28,27	3,24	1,62	0,58	7,65	10,78	2,55	0,46	0,58	0,00	1,16	0,93	0,23
Apr	24,36	1,78	2,11	0,11	5,90	8,57	1,33	0,89	0,33	0,00	1,33	0,78	0,00
Mag	19,04	1,77	1,14	0,00	6,35	5,52	0,00	0,83	0,21	0,00	0,42	0,31	0,00
Giu	9,99	1,80	1,01	0,00	5,95	5,05	0,11	1,01	0,22	0,00	0,22	0,11	0,00
Lug	7,46	2,38	1,84	0,00	4,97	7,24	0,11	0,54	0,11	0,00	0,43	0,11	0,00
Ago	13,04	1,59	1,36	0,11	5,44	6,12	0,23	0,91	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00
Set	27,24	2,82	0,98	0,00	6,26	5,77	0,37	0,98	0,49	0,00	1,23	0,12	0,00
Ott	36,83	2,50	0,75	0,12	11,86	9,11	1,50	3,75	0,25	0,00	1,87	0,87	0,12
Nov	31,96	4,87	1,62	0,25	17,35	13,11	1,12	2,37	0,50	0,00	3,00	1,25	0,00
Dic	26,26	4,20	2,04	0,48	21,34	16,91	3,24	3,00	0,48	0,00	1,44	1,32	0,48
Mese	S1-10	S11-20	S>20	SW1-10	SW11-20	SW>20	W1-10	W11-20	W>20	NW1-10	NW11-20	NW>20	Vxx
Gen	7,56	5,40	0,12	2,04	0,96	0,00	0,96	0,36	0,00	0,36	0,12	0,00	
Feb	8,87	4,50	0,13	6,30	2,19	0,00	3,47	0,13	0,13	1,41	0,26	0,00	
Mar	8,11	6,03	0,58	17,38	2,09	0,00	7,07	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	
Apr	7,68	6,79	0,44	22,14	6,01	0,00	7,34	1,33	0,00	0,56	0,00	0,00	
Mag	7,28	5,10	0,31	35,17	6,35	0,10	7,91	0,83	0,00	0,94	0,21	0,00	
Giu	6,29	6,62	0,22	30,53	16,16	0,22	10,10	2,92	0,00	0,90	0,22	0,00	
Lug	6,59	5,95	0,11	30,05	17,41	0,11	7,78	4,86	0,00	1,19	0,22	0,00	
Ago	4,99	4,20	0,11	31,41	16,44	0,00	9,30	2,95	0,00	0,68	0,57	0,00	
Set	12,27	4,05	0,00	22,82	4,91	0,00	7,73	0,61	0,00	0,61	0,00	0,00	
Ott	13,11	4,99	0,00	7,99	1,25	0,12	2,25	0,00	0,00	0,37	0,12	0,00	
Nov	8,36	7,62	0,25	2,87	1,50	0,00	0,62	0,37	0,00	0,75	0,00	0,00	
Dic	6,71	6,71	0,36	1,44	1,68	0,12	0,48	0,60	0,00	0,24	0,12	0,00	

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

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

- tra 1 e 10 nodi;
- tra 10 e 20 nodi;
- superiore a 20 nodi.

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

I diagrammi anemometrici sono rappresentati per stagioni considerando:

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

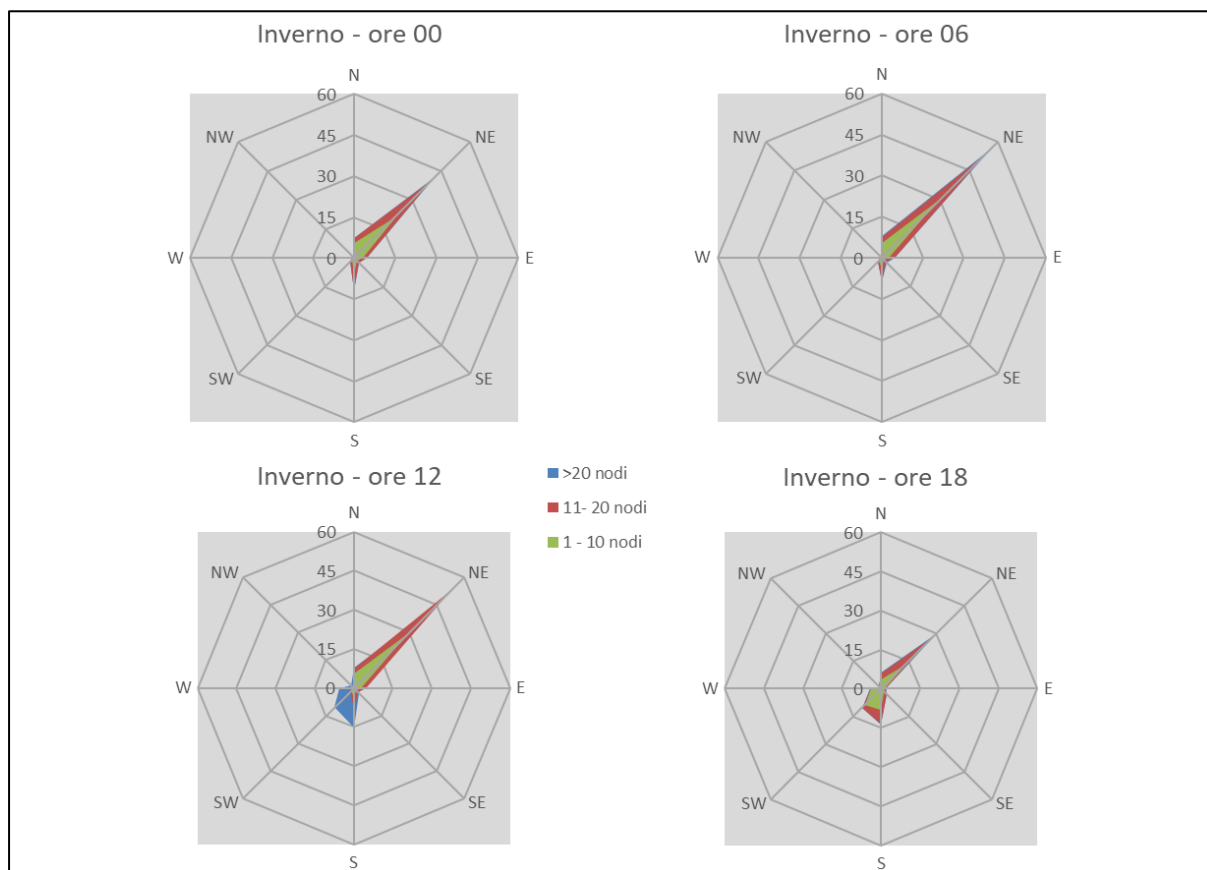


Figura 3-20 Regime anemometrico invernale nelle 4 ore di riferimento (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Dall'analisi delle rose dei venti per la stagione invernale si può notare una netta prevalenza dei venti che spirano da nord est, che si aggira intorno al 60% della frequenza per le ore centrali della giornata. Relativamente alle velocità, invece, la classe più frequente è quella intermedia (11 – 20 nodi), seguita dalla classe di velocità più basse. Si assiste inoltre per il grafico relativo alle ore 12 ad una netta intensificazione di venti che spirano con velocità maggiori ai 20 nodi provenienti dal versante meridionale.

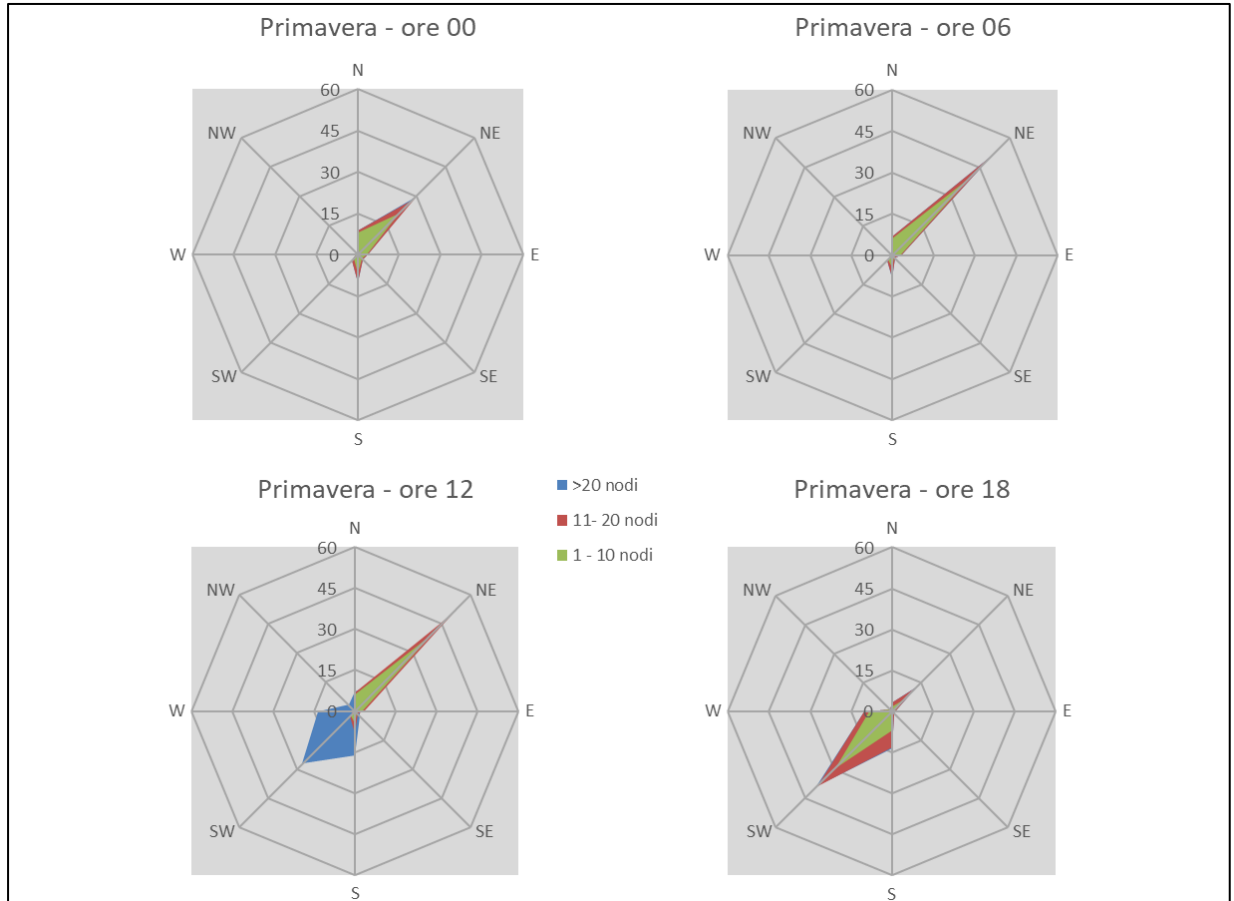


Figura 3-21 Regime anemometrico primaverile nelle 4 ore di riferimento (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Per quanto riguarda invece il periodo primaverile, si registra sempre una tendenza dei venti a spirare maggiormente dal versante nord est, con una crescita, in termini percentuali, di venti che spirano da sud ovest, soprattutto tra le ore 12 e le ore 18. La classe di velocità prevalente è quella compresa tra 1 e 10 nodi. Si assiste inoltre ad un aumento dei venti di calma in tutte e quattro le ore di riferimento.

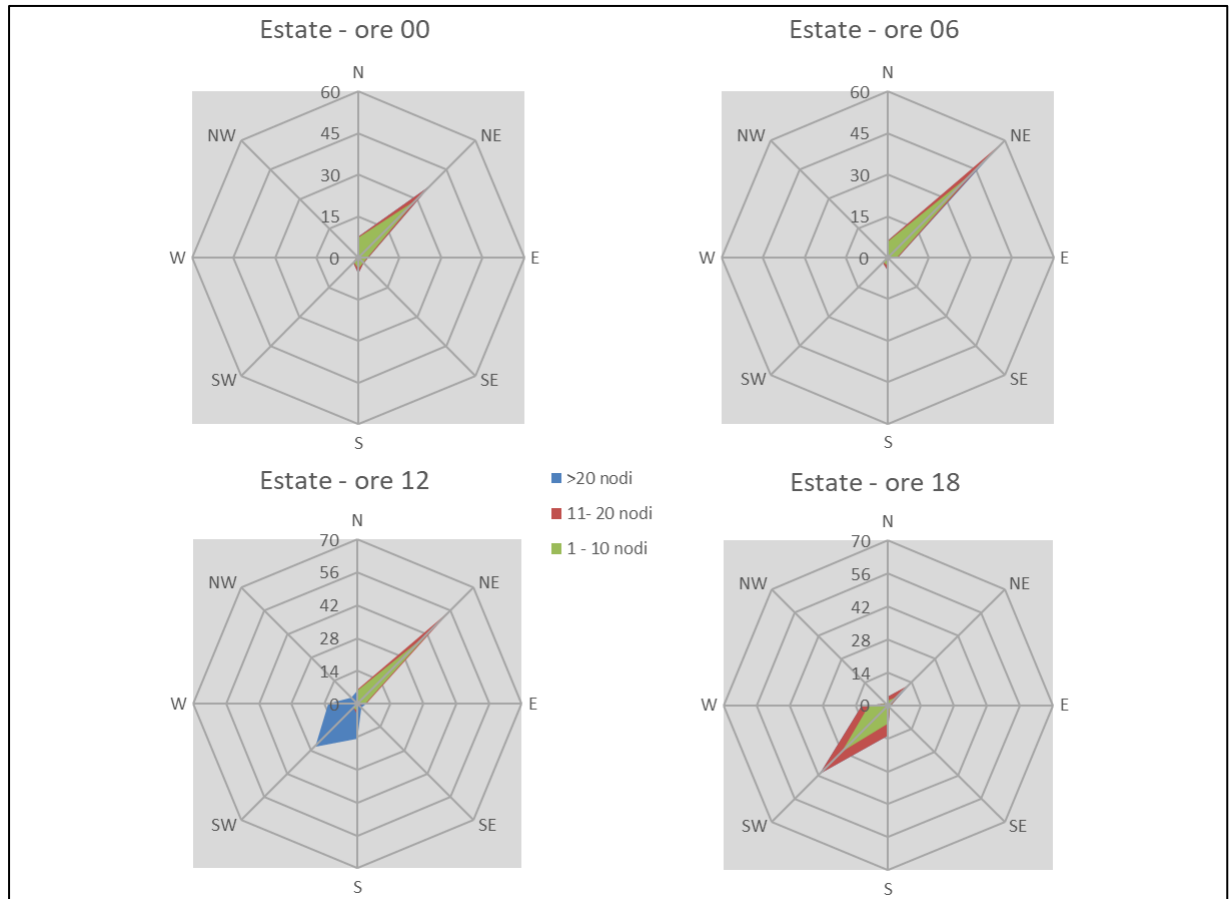


Figura 3-22 Regime anemometrico estivo nelle 4 ore di riferimento (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Il regime anemometrico rappresentato per la stagione estiva nelle quattro ore di riferimento è pressoché uguale a quello già rappresentato per il trimestre aprile – giugno.

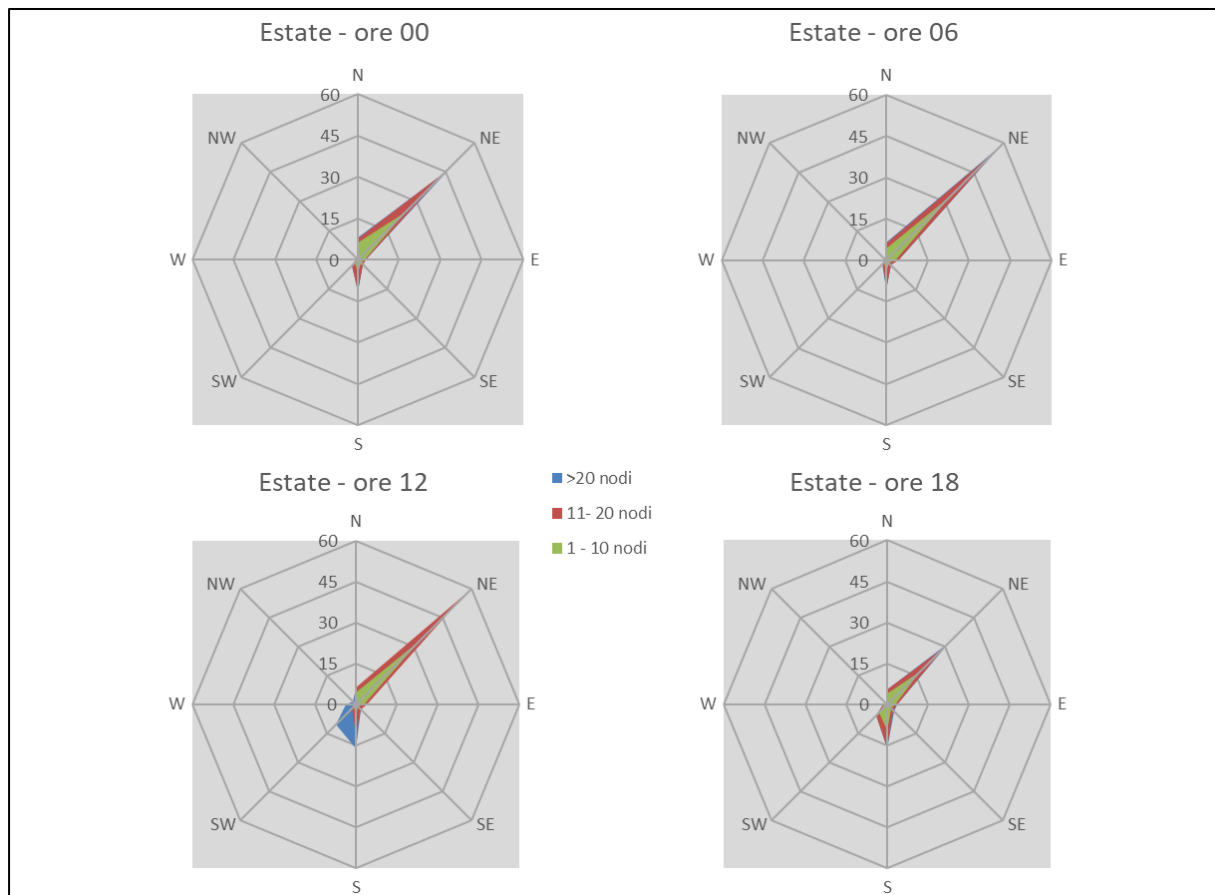


Figura 3-23 Regime anemometrico autunnale nelle 4 ore di riferimento (fonte: elaborazione da dati Atlante Climatico AM)

Infine, nella stagione autunnale si la tendenza dei venti a spirare dal versante nord est; contemporaneamente, diminuisce la frequenza dal versante sud ovest, mentre la classe di velocità più frequente è quella compresa tra gli 11 e 20 nodi, a cui contemporaneamente si assiste ad una riduzione delle calme di vento.

3.2 IL DATO CONSIDERATO NELLE SIMULAZIONI MODELLISTICHE

Descrizione formato e disponibilità dei dati

Per quanto riguarda lo studio meteorologico del dato attuale per la stazione di rilevamento dell'Aeroporto di Viterbo "Tommaso fabbri", è stato preso in considerazione il bollettino METAR relativo al 2021, che rappresenta un messaggio di osservazione in superficie di tipo aeronautico, emesso ogni mezz'ora oppure ogni ora, a seconda del servizio della stazione.

I principali riferimenti meteorologici utilizzati per le analisi meteo climatiche sono:

- temperatura dell'aria, espressa in gradi centigradi [°C] e misurata attraverso termometri posizionati ad un'altezza variabile tra 1,25 e 2 metri dal suolo su terreno controllato coperto, protetti da precipitazioni e radiazione incidente, mantenendo libera la circolazione dell'aria. In

particolare, per il bollettino METAR la temperatura dell'aria è registrata ogni ora o mezz'ora in °C, approssimata al grado intero.

- vento: per il vento vengono adottate differenti unità di misura in base alla componente. Per l'intensità, che corrisponde alla velocità dell'aria rispetto al suolo, l'unità di misura utilizzata è il nodo (KT che corrisponde a 1.852 km/h) e per la direzione di provenienza il grado sessagesimale (si assume come valore 0 la calma di vento e 360 il nord). Lo strumento di misura, chiamato anemometro, è posto, lontano da ostacoli, ad un'altezza di 10 metri dal suolo. In particolare, per il bollettino METAR viene fornita la direzione e l'intensità del vento al suolo; viene, inoltre, indicata anche la raffica, che consiste nella velocità massima del vento riferita allo stesso periodo di 10 minuti, quando questa supera di almeno 10 nodi il valore dell'intensità;
- visibilità orizzontale, stimata empiricamente dall'operatore attraverso l'osservazione di opportuni riferimenti posti a distanza nota sul giro d'orizzonte;
- pressione, le cui 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 ed indicano la pressione misurata al livello della stazione. In particolare, per il bollettino METAR viene fornito in hPa il QNH ovvero la pressione ridotta al livello del mare secondo un'atmosfera standard (ICAO).

In riferimento alla stazione considerata, i dati a disposizione hanno un intervallo di un'ora, per cui per ogni mese vengono registrati circa 720 dati.

Al fine di poter descrivere compiutamente lo stato attuale, si riportano di seguito le descrizioni dei parametri meteorologici principali per l'anno di riferimento, per poi successivamente confrontarli con i dati storici e verificarne la coerenza. Qualora la verifica risultasse positiva in termini di coerenza sarà possibile utilizzare i dati meteo attuali (2021) come riferimento per le simulazioni modellistiche.

3.2.1 REGIME TERMICO

Per quanto riguarda la temperatura nell'anno di riferimento, come visibile in Figura 3-24, la temperatura le temperature si registrano nei mesi estivi, raggiungendo picchi di 36 °C nel mese di agosto. Viceversa, il minimo viene registrato nei mesi di gennaio e febbraio, dove la temperatura raggiunge i -3°C. La media annua registrata per il 2021 è di circa 14,5°C.

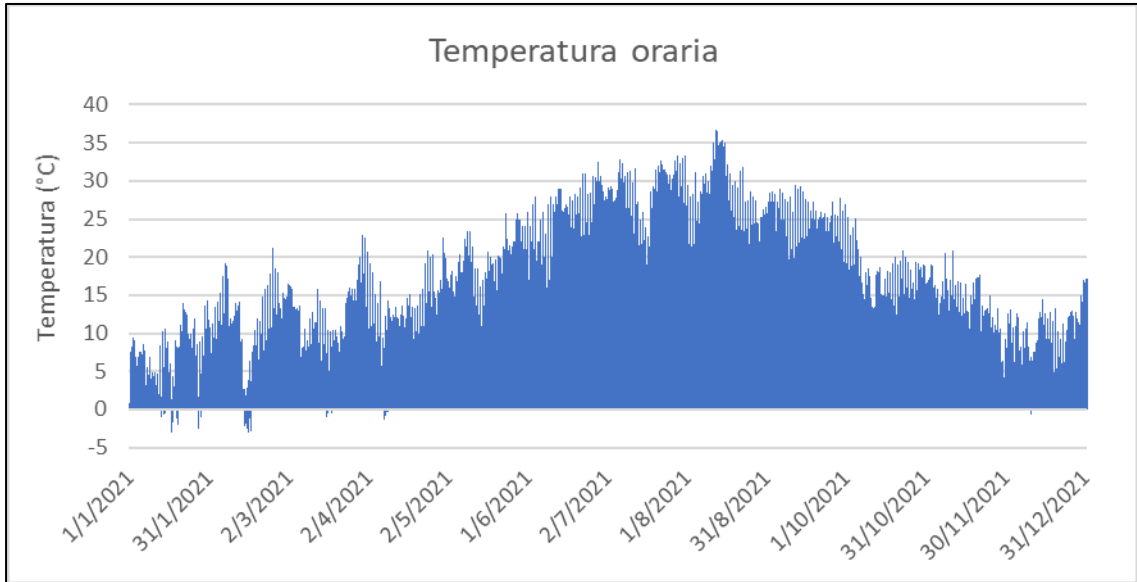


Figura 3-24 Temperatura oraria (fonte: elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Viterbo)

3.2.2 REGIME ANEMOMETRICO

L'intensità del vento registrata per l'anno 2021, come si evince in Figura 3-25, assume dei picchi nel mese di gennaio, raggiungendo i 16 m/s; per il resto dell'anno la velocità si mantiene costantemente sotto i 12 m/s, registrando una media annua di 3,6 m/s.

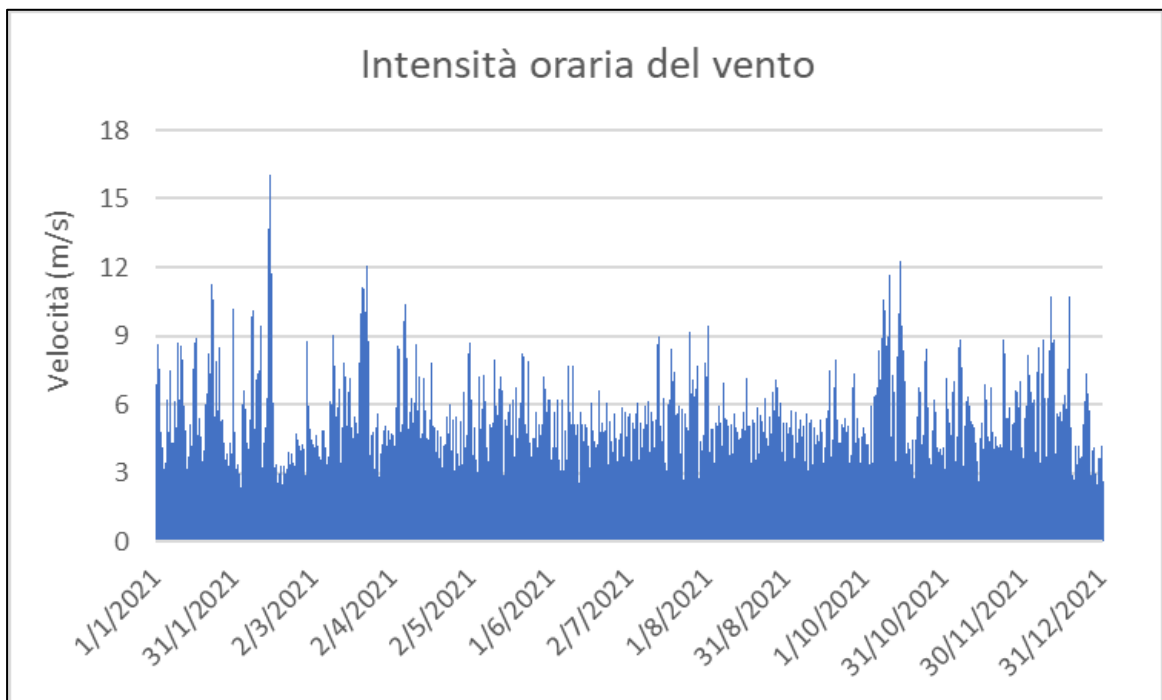


Figura 3-25 Intensità oraria del vento (fonte: elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Viterbo)

In relazione alle direzioni dei venti, si può osservare in Figura 3-26 come le direzioni prevalenti da cui spira il vento, registrate per l'anno 2021, sono la NNE e NE, con rispettivamente il 26,8% e 24,3% delle frequenze. Sono invece quasi nulle, invece, le direzioni compresi tra il versante ovest e nord.

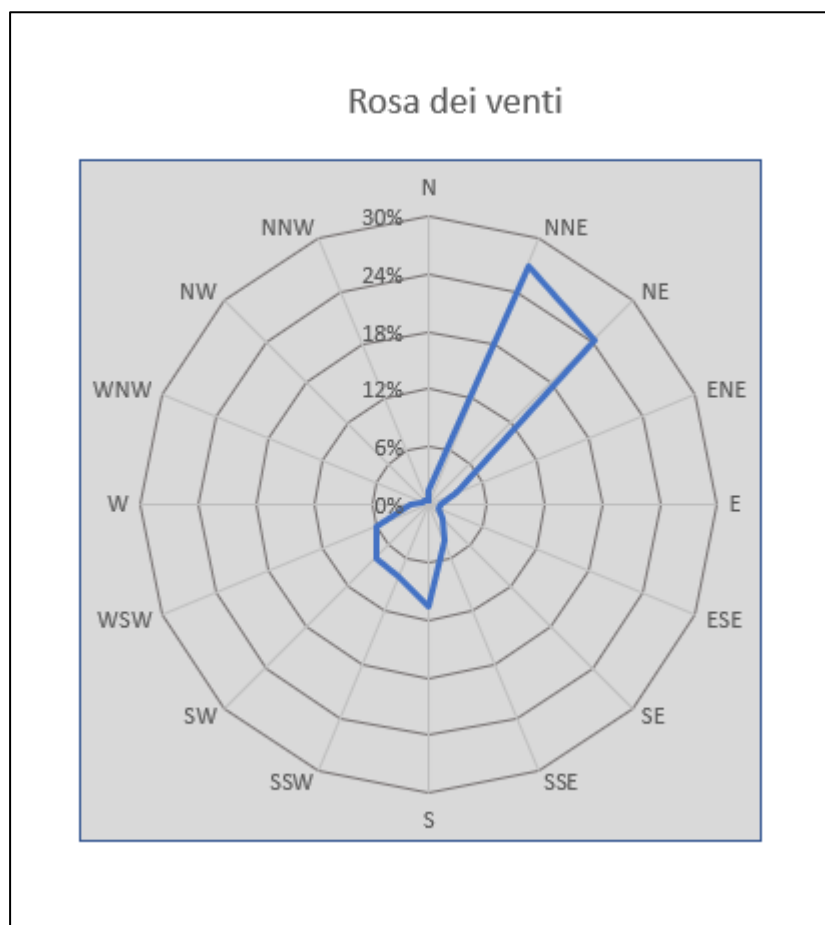


Figura 3-26 Rosa dei venti (fonte: elaborazione dati Aeronautica militare - Stazione di Viterbo)

Nuvolosità

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

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

Tabella 3-10 Grado di nuvolosità

Dal grafico riguardante la frequenza del grado di nuvolosità, Figura 3-27, si nota una bassa frequenza di grado di nubi della classe 8, mentre la frequenza più alta è registrata nella classe 1 o 2 che corrisponde al cielo poco nuvoloso, registrato in circa il 60% delle misurazioni orarie.

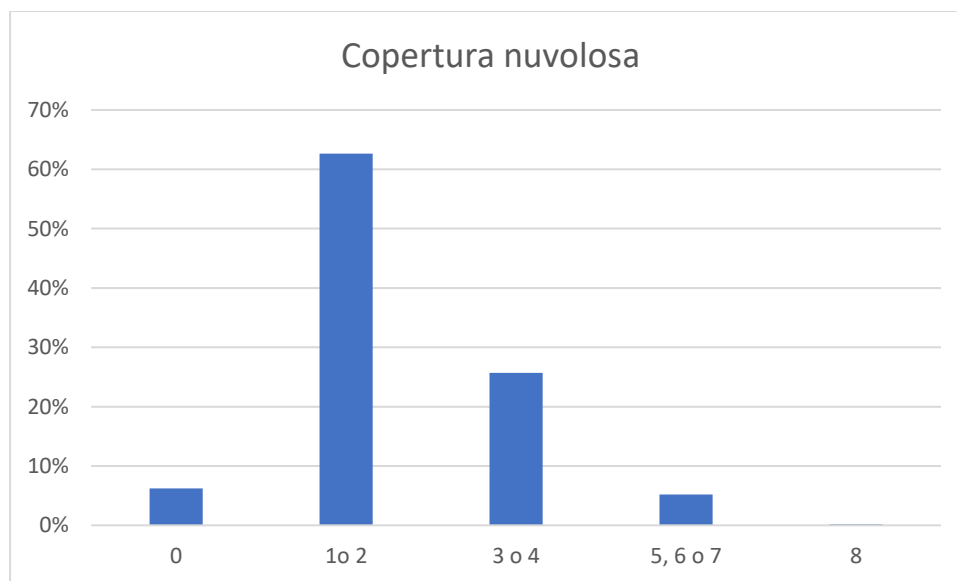


Figura 3-27 Frequenza del grado di nuvolosità (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Viterbo)

Visibilità

Per quanto riguarda il parametro della frequenza della visibilità, Figura 3-28, si nota come per il 69% delle ore dell'anno la visibilità sia superiore a 8000 m. Con percentuali del 11% e 20% si registra rispettivamente una visibilità inferiore ai 5000 e tra i 5000 e gli 8000 metri.

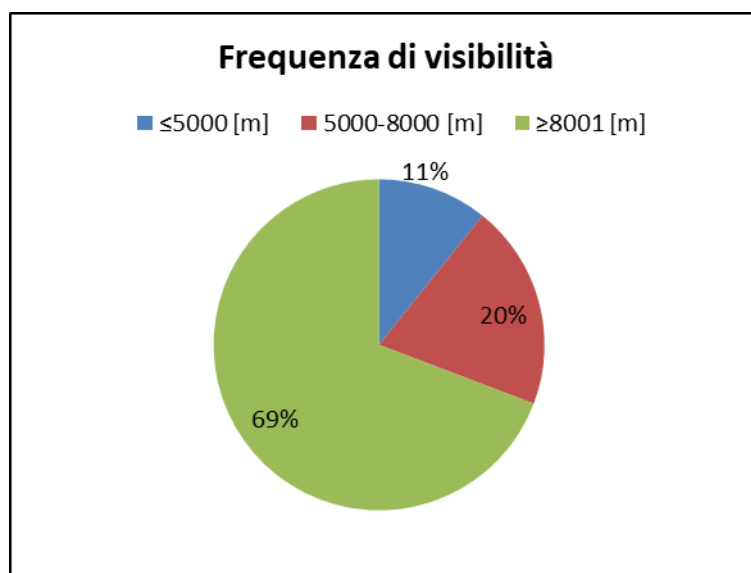


Figura 3-28 Frequenza visibilità (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Viterbo)

3.3 IL CONFRONTO TRA IL DATO STORICO E L'ANNO DI RIFERIMENTO DELLE SIMULAZIONI

Parametri di confronto

Al fine di validare la simulazione che si andrà a condurre, in relazione all'aspetto meteorologico, è opportuno verificare la bontà del dato attuale assunto con la serie storica analizzata. Ciò che si intende valutare, quindi, è la significatività del dato attuale 2021 rispetto alle condizioni meteorologiche che generalmente si verificano nell'area in cui è localizzata la stazione meteo, prossima al luogo di intervento. Con tale verifica sarà quindi evidenziato come il dato meteorologico del 2021 sia conforme al dato storico, non rappresentando così un "outliers" rispetto alle condizioni meteo climatiche medie storiche analizzate nella stessa area. Nello specifico verranno, quindi, di seguito, analizzati e confrontati i principali parametri utilizzati nelle simulazioni modellistiche, quali il regime termico ed il regime anemometrico.

Regime Termico

Per quanto riguarda il Regime Termico il confronto è stato effettuato in primis tra le temperature medie mensili (cfr. Figura 3-29). Tale grafico mostra un andamento pressoché invariato tra i due differenti riferimenti temporali. In particolare, i dati dell'anno di riferimento registrano un incremento medio mensile, maggiore nei mesi estivi di giugno e luglio, dove è pari rispettivamente a 3°C e 2°C.

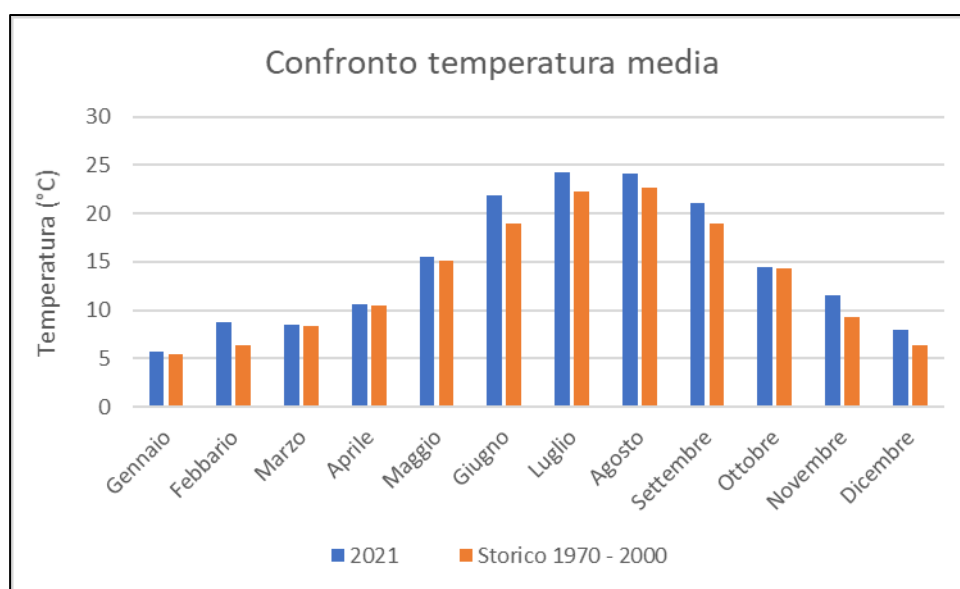


Figura 3-29 Confronto temperatura media (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Viterbo)

Anche nel confronto della temperatura massima media e minima media (cfr. Figura 3-30 Figura 3-31) tra le tre decadi precedentemente studiate e l'anno di riferimento, il trend rimane analogo a quanto detto per le temperature medie mensili. Anche in questo caso, i dati dell'anno di riferimento registrano un incremento medio nell'anno, che è più marcato per i mesi estivi di giugno, luglio e agosto nel confronto

delle temperature minime medie mensili, dove l'incremento rispetto alla serie storica è di circa 3°C per l'intero trimestre.

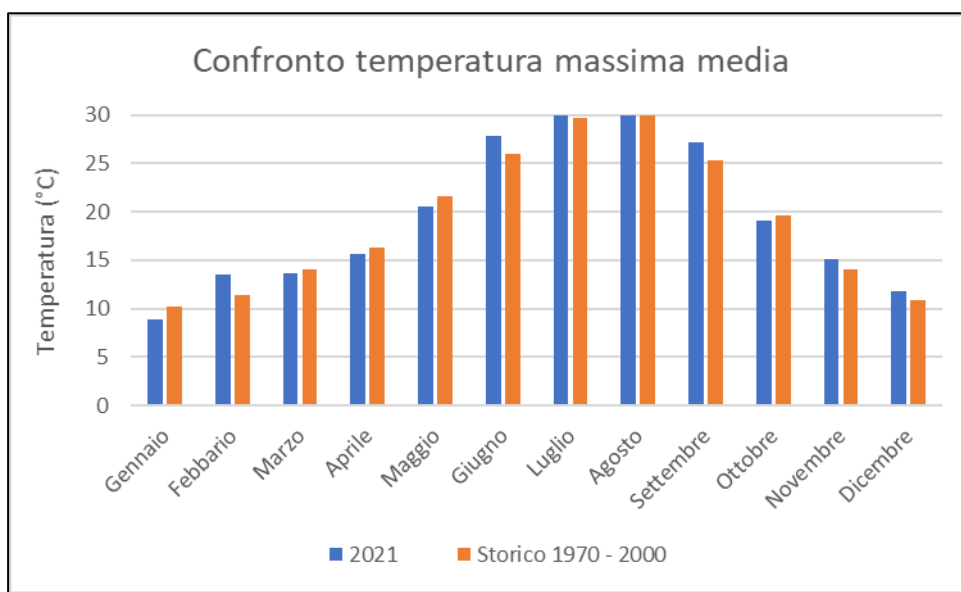


Figura 3-30 Confronto temperatura massima media (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Viterbo)

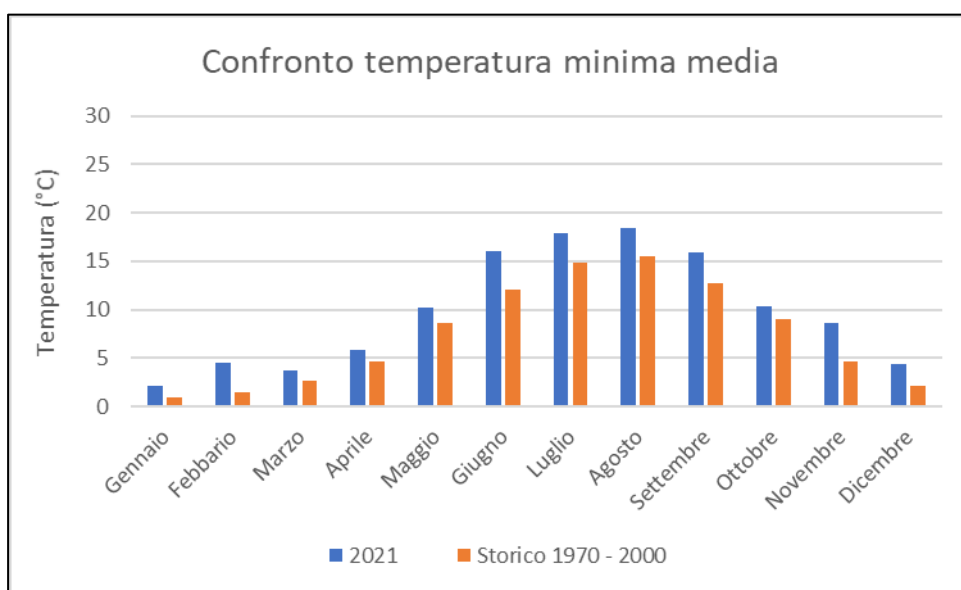


Figura 3-31 Confronto temperatura minima media (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare- Stazione Gioia del Colle)

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

I grafici sotto illustrati mostrano tre classi di intensità:

- la prima classe comprende i valori dei nodi compresi tra 1 e 10;
- la seconda i valori tra 11 e 20;
- la terza i valori superiori a 20.

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.

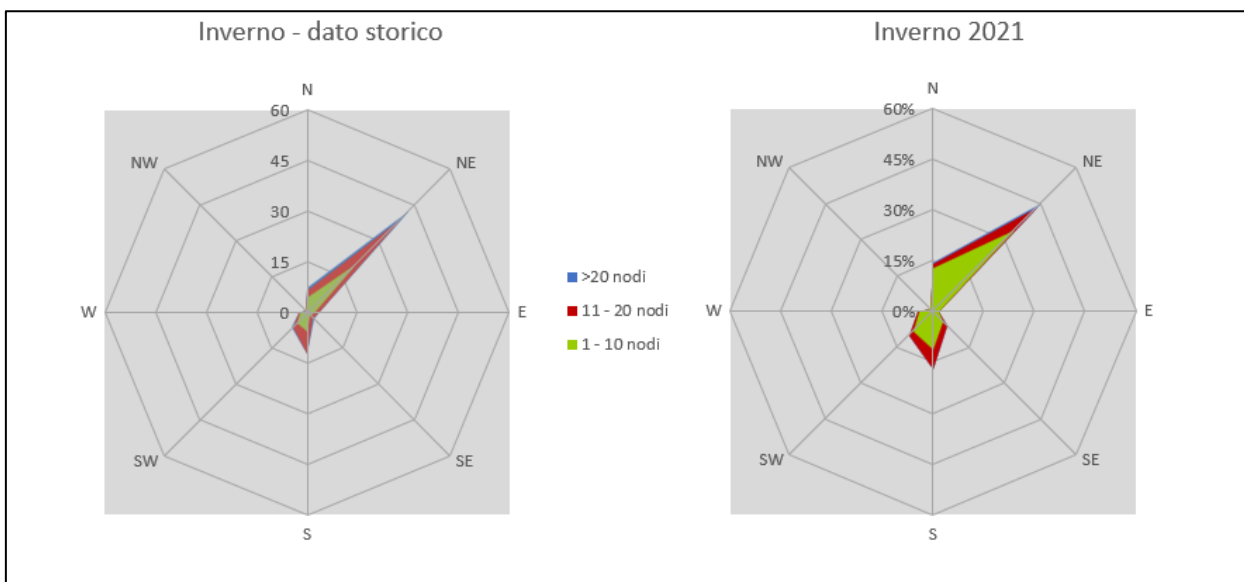


Figura 3-32 Confronto dati anemometrici stagione invernale (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Viterbo)

Dal confronto risulta come le direzioni principali dei venti siano rimaste invariate nell'anno preso in esame. Infatti, la direzione prevalente nella rosa dei venti del 2021 risulta essere la medesima del dato storico, ovvero la nord est, con una diminuzione della velocità in termini di nodi. È bene, però, ricordare come le differenze principali possano essere ricondotte ad una differenza nella modalità di registrazione del dato storico, suddiviso in 8 classi di vento per direzione a differenza del dato attuale suddiviso in 16 classi e ricondotto in back analysis ad 8.

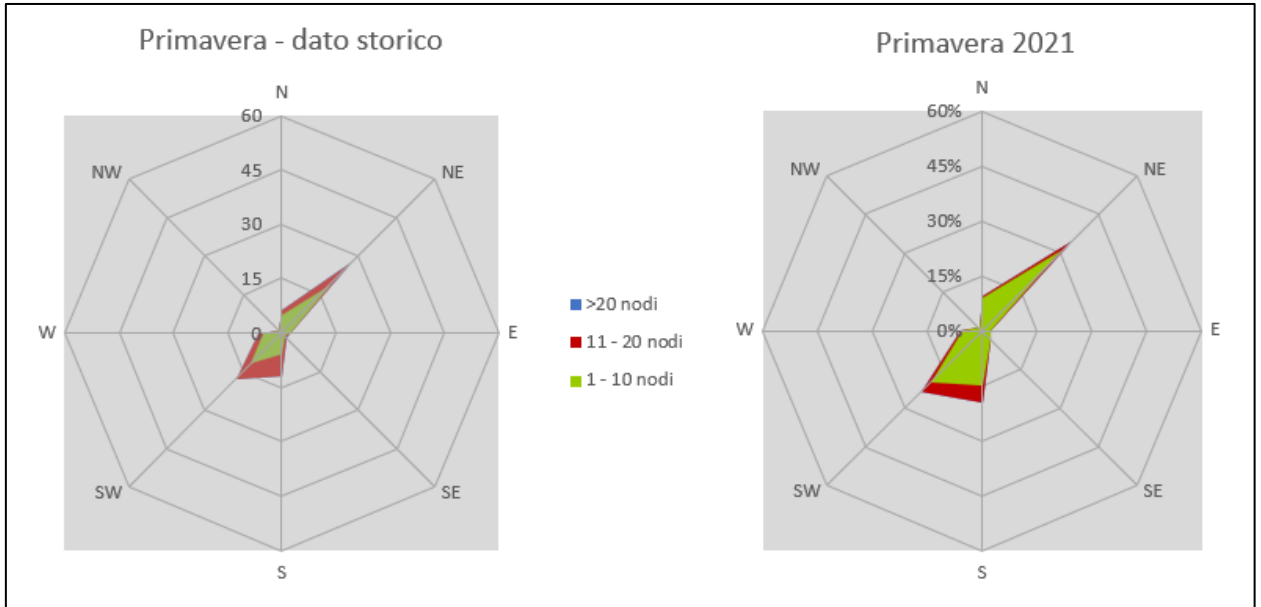


Figura 3-33 Confronto dati anemometrici stagione primaverile (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare – Stazione di Viterbo)

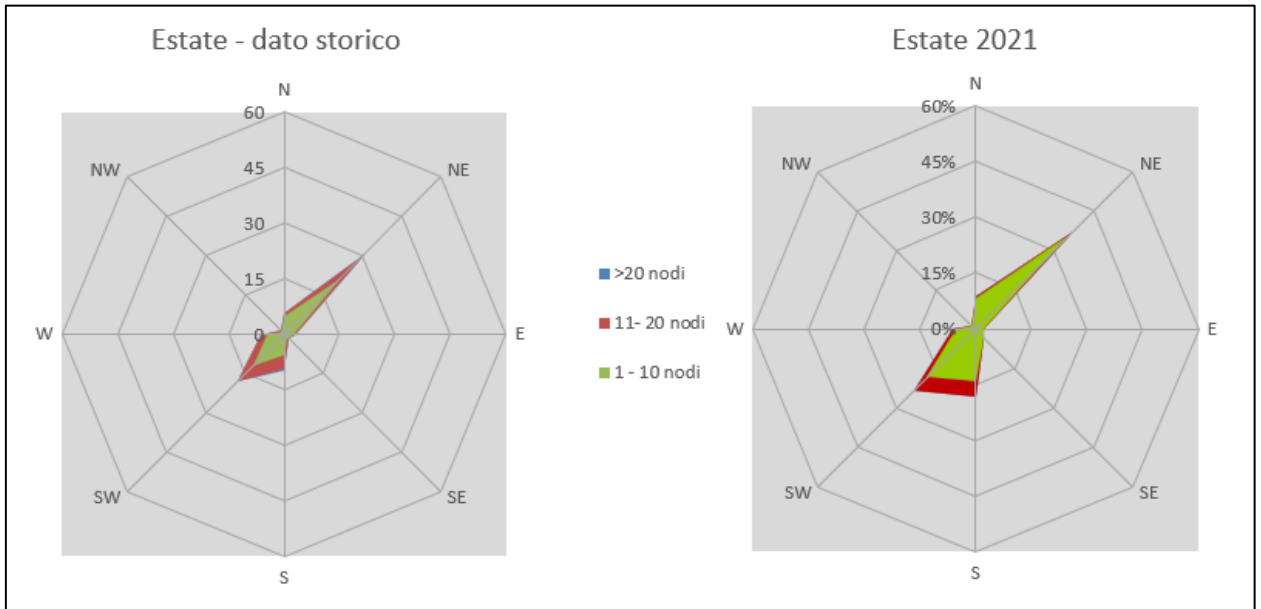


Figura 3-34 Confronto dati anemometrici stagione estiva (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare –Stazione di Viterbo)

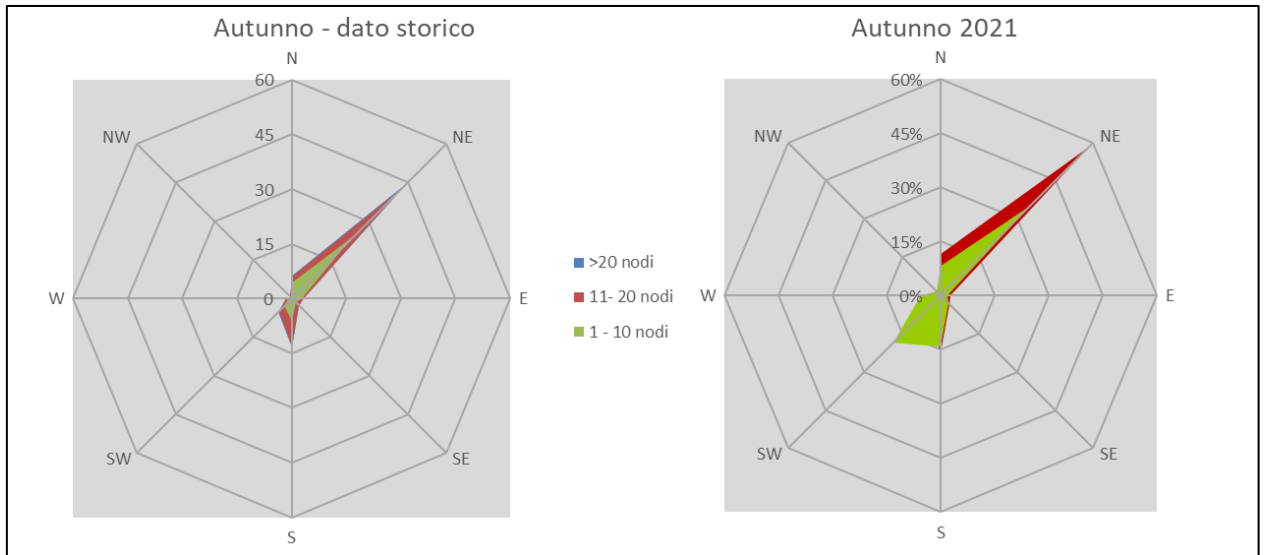


Figura 3-35 Confronto dati anemometrici stagione autunnale (Fonte: Elaborazione dati Aeronautica militare –Stazione Gioia del Colle)

3.3.1 CONCLUSIONI

Alla luce di quanto esposto nei paragrafi precedenti in relazione all’aspetto meteorologico, è possibile evidenziare in generale, sia in termini anemometrici che termici, una buona corrispondenza del dato attuale relativo al 2021 con i dati provenienti dalle serie storiche fornite dall’Atlante Climatico per la stessa stazione meteo di riferimento.

Pertanto, può essere considerato attendibile l’intervallo di analisi per l’anno 2021, che verrà nel proseguo della trattazione adottato per le simulazioni modellistiche.

4 ANALISI EMISSIVA

4.1 ANALISI EMISSIVA A LIVELLO NAZIONALE

Con riferimento all'Inventario Nazionale delle Emissioni in Atmosfera (INEA) ed in particolare al documento "Italian Emission Inventory 1990-2019. Informative Inventory Report 2021", realizzato dall'ISPRA, è stato possibile delineare il quadro nazionale italiano delle emissioni in atmosfera per il periodo compreso tra il 1990 ed il 2019 relativo ai seguenti inquinanti: ossidi di azoto (NO_x), particolato (PM₁₀ e PM_{2.5}) e monossido di carbonio (CO). Si riportano di seguito le emissioni prodotte dalle macro - attività considerate nell'Inventario Nazionale.

Inventario Nazionale Italiano- Emissioni 1990-2019

Emissioni di NO_x [Gg]:

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	457,4	344,3	172,6	117,9	81,3	52,4	48,1	45,6	41,6	38,7
Impianti di combustione non industriale	64,2	65,5	64,8	74,9	85,5	86,2	876,5	87,3	86,4	86,3
Combustione industriale	250,5	182,2	153,9	155,3	99,1	60,8	61,1	54,2	53,1	52,7
Processi produttivi	29,9	31,0	9,2	16,0	10,7	9,5	8,5	10,7	10,5	10,5
Uso di solventi e altri prodotti	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Trasporti stradali	996,1	1039,7	777,2	628,8	421,9	327,4	313,3	269,4	266,6	252,7
Altre fonti mobili e macchine	261,5	258,5	260,1	233,0	183,1	129,9	127,3	124,6	129,1	134,6
Trattamento e smaltimento rifiuti	2,9	3,1	2,6	2,9	2,6	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3
Agricoltura	62,0	64,5	63,7	60,0	49,8	49,8	52,1	51,5	49,4	48,7
TOTALE	2124,7	1988,9	1504,4	1289,0	934,2	718,6	699,4	645,8	639,1	626,7

Tabella 4-1 Emissioni nazionali di NO_x (fonte: "Italian Emission Inventory 1990-2019. Informative Inventory Report 2021" - ISPRA)

Emissioni di PM10 [Gg]:

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	44,8	39,8	18,6	5,9	2,8	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7
Impianti di combustione non industriale	67,8	71,2	68,6	68,6	123,1	106,8	103,4	113,0	95,1	94,0
Combustione industriale	27,6	25,1	18,6	17,9	12,4	7,7	7,9	7,8	8,0	7,4
Processi produttivi	23,5	23,0	20,2	21,6	17,2	12,3	12,2	12,3	12,4	12,5
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3
Uso di solventi e altri prodotti	2,8	2,8	3,8	3,8	3,4	2,6	2,3	2,3	2,3	2,2
Trasporti stradali	58,7	57,6	52,6	46,3	33,3	24,4	22,8	20,9	20,4	20,0
Altre fonti mobili e macchine	31,6	32,1	30,5	25,1	15,9	10,0	9,6	9,0	9,0	9,2
Trattamento e smaltimento rifiuti	2,7	3,0	2,9	3,1	2,9	3,0	3,2	3,1	2,9	2,9
Agricoltura	32,7	33,2	32,1	29,6	22,6	22,7	23,3	22,9	22,9	22,9
TOTALE	292,9	288,0	248,1	222,6	234,4	191,2	186,2	192,7	174,3	172,0

Tabella 4-2 Emissioni nazionali di PM10 (fonte: "Italian Emission Inventory 1990-2019. Informative Inventory Report 2021" - ISPRA)

Emissioni di PM2,5 [Gg]:

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	30,1	27,8	12,7	3,7	1,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
Impianti di combustione non industriale	66,9	70,6	67,9	67,9	121,8	105,6	102,2	111,7	94,0	92,8
Combustione industriale	19,9	18,3	14,0	13,6	9,8	6,3	6,4	6,4	6,6	6,2
Processi produttivi	13,5	13,0	10,9	11,5	9,4	6,8	6,9	6,9	6,9	6,7

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Uso di solventi e altri prodotti	2,7	2,7	3,3	3,2	2,9	2,3	2,1	2,1	2,1	2,0
Trasporti stradali	53,3	51,5	46,0	39,3	26,8	18,1	16,8	15,3	14,6	14,1
Altre fonti mobili e macchine	31,5	32,0	30,4	25,0	15,9	9,9	9,6	9,0	9,0	9,1
Trattamento e smaltimento rifiuti	2,4	2,6	2,5	2,7	2,5	2,6	2,8	2,7	2,6	2,5
Agricoltura	7,0	6,9	6,8	6,4	5,2	5,3	5,6	5,3	5,3	5,3
TOTALE	227,5	225,4	194,7	173,4	196,2	157,8	153,1	160,1	141,5	139,3

Tabella 4-3 Emissioni nazionali di PM2.5 (fonte: "Italian Emission Inventory 1990-2019. Informative Inventory Report 2021" - ISPRA)

Emissioni di CO [Gg]:

Macro-Attività	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Combustione nei settori dell'energia e della trasformazione	58,9	54,1	54,4	53,9	34,5	39,9	44,0	44,5	39,6	38,6
Impianti di combustione non industriale	795,1	894,0	913,1	930,4	1664,9	1395,4	1352,7	1475,5	1289,1	1267,8
Combustione industriale	305,6	410,9	314,9	326,0	233,6	92,8	100,8	81,9	80,8	110,0
Processi produttivi	223,7	139,8	129,2	143,6	105,0	63,6	68,6	71,8	70,8	69,6
Uso di solventi e altri prodotti	5,1	5,1	5,7	5,3	5,1	4,4	4,3	4,3	4,2	4,0
Trasporti stradali	4874,5	5106,1	2973,8	1681,2	776,3	479,0	430,4	402,6	384,9	386,5
Altre fonti mobili e macchine	480,5	402,5	302,9	263,4	193,9	135,9	131,7	122,5	126,3	129,8
Trattamento e smaltimento rifiuti	40,7	46,9	45,4	50,5	47,2	47,0	48,9	46,0	44,3	44,0
Agricoltura	12,5	12,2	12,1	13,1	12,5	12,7	13,6	12,4	12,2	12,0
TOTALE	6796,5	7071,6	4751,1	3467,4	3072,9	2270,7	2195,1	2261,3	2052,2	2062,2

Tabella 4-4 Emissioni nazionali di CO (fonte: "Italian Emission Inventory 1990-2019. Informative Inventory Report 2021" - ISPRA)

4.2 ANALISI EMISSIVA A LIVELLO REGIONALE

Con riferimento all'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera fornito da ARPA Lazio è stato possibile effettuare l'analisi emissiva del territorio circostante l'area in esame, dapprima a livello regionale e successivamente a livello provinciale. Tale inventario, è stato aggiornato utilizzando come punto di partenza l'inventario ISPRA 2015 e aggiornandolo alla luce delle informazioni raccolte dall'ARPA Lazio nell'ambito delle attività istituzionali (ad esempio i controlli delle emissioni puntuali delle industrie) e mediante specifiche indagini (consumo di biomassa per il riscaldamento domestico, emissioni correlate ai movimenti delle navi, ecc.). Peraltro, Alcune informazioni utilizzate per l'aggiornamento dell'inventario si riferiscono a date successive al 2015.

L'analisi emissiva è stata condotta sull'ultimo anno di riferimento disponibile, ovvero il 2015, il cui dataset è stato aggiornato fino al 2019, da cui si evince che:

- per il PM10, le principali fonti emissive sono rappresentate dal macrosettore «Trasporti stradali» (33,69%) e dal macrosettore «Impianti di combustione non industriale» (52,16%);
- per le emissioni di Ossidi di azoto (NOx), queste sono principalmente dovute ai macrosettori «Trasporti stradali» (48,10%), «Impianti di combustione non industriale» (15,17%) e «Altre sorgenti mobili e macchinari mobili» (13,61%);
- per il Monossido di Carbonio (CO), le principali fonti emissive sono connesse ai macrosettori «Trasporti stradali» (24,87%) e «Impianti di combustione non industriale» (55%).

Di seguito si riportano in forma tabellare i valori di emissione della Regione Lazio, suddivisi per macrosettori:

Macrosettori	CO (t/anno)	NM VOC (t/anno)	NH3 (t/anno)	NOx (t/anno)	PM10 (t/anno)	SO2 (t/anno)
Combustione nell'industria e impianti energetici	2357.4	210.8	24.4	4237.2	93.7	2098.1
Impianti di combustione non industriale	122066.9	18748.2	324.2	8694.9	14115.5	1123.0
Processi produttivi (combustione nell'industria manifatturiera)	2292.9	285.6	44.9	4848.1	745.2	2546.3
Processi produttivi (combustione senza contatto)	354.7	3151.5	11.6	826.6	667.2	437.1
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili ed energia geotermica	0.0	1840.3	0.0	0.0	138.7	0.0
Uso di solventi ed altri prodotti	289.1	22622.1	882.7	339.8	184.9	17.1
Trasporti stradali	55127.0	10437.3	529.6	27560.7	9114.0	172.3
Altre sorgenti mobili e macchinari mobili (trasporti fuori strada)	10009.4	2285.2	1.3	7799.1	414.5	307.7
Trattamento dei rifiuti e discariche	1153.2	505.7	324.6	276.1	110.1	37.5

Macrosettori	CO (t/anno)	NMVOC (t/anno)	NH3 (t/anno)	NOx (t/anno)	PM10 (t/anno)	SO2 (t/anno)
Agricoltura	181.3	34.4	16498.1	2371.8	322.2	0.0
Altre emissioni ed assorbimenti	27748.7	83295.7	93.1	343.5	1155.3	82.7
Tot	221580.7	143416.7	18734.5	57297.9	27061.3	6821.8

Tabella 4-5 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Regione Lazio (Fonte: elaborazione dati "Inventario regionale delle Emissioni in Atmosfera. Anno 2015, aggiornamenti Anno 2019" – ARPA Lazio)

4.3 ANALISI EMISSIVA A LIVELLO PROVINCIALE

Sempre in riferimento all'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera fornito da ARPA Lazio, è stato poi possibile effettuare l'analisi emissiva a livello provinciale, con specifico riferimento alla Provincia di Viterbo, da cui si evince che:

- per il PM10, le principali fonti emissive sono rappresentate dal macrosettore «Impianti di combustione non industriale» (52,32%) e dal macrosettore «Processi produttivi» (19,43%);
- per le emissioni di Ossidi di azoto (NOx), la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore «Trasporti stradali» (41,73%);
- per il Monossido di carbonio (CO), le principali fonti emissive sono connesse ai macrosettori «Impianti di combustione non industriale» (63,45%) e «Trasporti stradali» (25,57%).

Macrosettori	SO2 (t/anno)	NOx (t/anno)	NMVOC (t/anno)	CO (t/anno)	NH3 (t/anno)	PM10 (t/anno)
Combustione nell'industria e impianti energetici	0.0	0.6	0.0	0.4	0.0	0.0
Impianti di combustione non industriale	48.8	572.5	1346.8	10493.1	29.1	1189.4
Processi produttivi (combustione nell'industria manifatturiera)	1420.7	740.8	33.7	162.1	0.0	441.9
Processi produttivi (combustione senza contatto)	211.4	139.7	290.9	11.4	0.0	195.4
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili ed energia geotermica	0.0	0.0	94.9	0.0	0.0	0.0
Uso di solventi ed altri prodotti	0.0	0.0	1215.7	0.0	0.0	3.3
Trasporti stradali	7.6	1692.7	1069.6	4229.1	26.2	226.6
Altre sorgenti mobili e macchinari mobili (trasporti fuori strada)	1.1	623.6	168.1	807.5	0.2	48.5
Trattamento dei rifiuti e discariche	1.7	53.9	42.9	467.7	10.3	29.5
Agricoltura	0.0	227.1	7.3	66.8	2609.8	126.2
Altre emissioni ed assorbimenti	0.9	5.0	12867.2	299.5	1.0	12.5
Tot	1692.1	4055.9	17137.2	16537.6	2676.6	2273.3

Tabella 4-6 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Provincia di Viterbo (Fonte: elaborazione dati "Inventario regionale delle Emissioni in Atmosfera. Anno 2015, aggiornamenti Anno 2019" – ARPA Lazio)

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

Relativamente agli inquinanti presi come riferimento nell'analisi della componente Atmosfera, ossia il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NO_x) ed il particolato (PM₁₀ e PM_{2.5}), di seguito si riassumono le emissioni prodotte dal traffico veicolare nella regione Lazio e nella provincia di Viterbo.

Trasporti stradali	Nox (t/anno)	CO (t/anno)	PM10 (t/anno)
Regione Lazio	57297,7	221580,7	27061,1
Provincia di Viterbo	4055,9	16537,6	2273,3
Contributo emissivo della Provincia sull'emissione Regionale (%)	7.1%	7.5%	8.4%

Tabella 4-7 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Provincia di Viterbo (Fonte: elaborazione dati "Inventario regionale delle Emissioni in Atmosfera. Anno 2015, aggiornamenti Anno 2019" – ARPA Lazio)

5 ANALISI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

5.1 LA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

Con Deliberazione di Consiglio Regionale 10.12.2009, n.66, la Regione Lazio ha approvato il "Piano per il Risanamento della Qualità dell'Aria" in attuazione del DLGS n.351/99, art.8, misure da applicare nelle zone in cui i livelli degli inquinanti sono più alti dei valori limite e art.9, requisiti applicabili alle zone con i livelli inferiori ai valori limite. Infine, con Deliberazione della Giunta Regionale del 05.03.2010, n.164, la Regione Lazio ha provveduto ai fini della corretta applicazione delle Norme di Attuazione del "Piano per il Risanamento della Qualità dell'Aria" anche al coordinamento dei termini relativi all'entrata in vigore delle stesse.

Il Piano di Risanamento della Qualità dell'aria della Regione Lazio stabilisce le norme atte ad evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso, determinati dalla dispersione degli inquinanti in atmosfera. In accordo con quanto prescritto dalla normativa persegue due obiettivi generali:

- Il risanamento della qualità dell'aria nelle zone dove si sono superati i limiti previsti dalla normativa o vi è un forte rischio di superamento;
- Il mantenimento della qualità dell'aria nel restante territorio.

Tali obiettivi sono perseguiti attraverso l'adozione di misure di contenimento e di riduzione delle emissioni da traffico, industriali e diffuse, che portino a conseguire il rispetto dei limiti imposti dalla normativa, ma anche a mantenere e migliorare la qualità dell'aria nelle aree del territorio dove non si rilevano criticità.

Le informazioni ai fini della valutazione della qualità dell'aria sono state raccolte con riferimento all'anno 2005 e relativamente sia ai fattori che determinano criticità, ovvero le sorgenti dell'emissione di inquinanti, sia alle variabili geografiche e meteorologiche che ne influenzano la diffusione e la dispersione, sia alla misura delle loro concentrazioni in atmosfera. Si è proceduto in tale senso ad aggiornare il quadro delle emissioni regionali attraverso diverse fonti:

- APAT 2000: proiettato al 2005, per le emissioni diffuse di tutti i settori eccezione fatta per tutti i tratti autostradali e per le emissioni urbane ed extraurbane del Comune di Roma;
- Censimento ARPA Lazio: delle emissioni da sorgenti puntuali;
- Dati AISCAT per le emissioni autostradale sull'intero dominio;
- Stime di traffico fornite da ATAC Roma, sulla rete primaria di Roma.

Una volta stimate le emissioni ed analizzati i principali dati meteorologici, il piano effettua un'approfondita analisi al fine di analizzare i risultati dei monitoraggi effettuati attraverso la rete di monitoraggio della qualità dell'aria, al fine di valutare elementi di criticità in relazione ad inquinati o aree specifiche. A valle di tale disamina, al fine di individuare zone di territorio omogenee dal punto di vista della qualità dell'aria in cui classificare il territorio stesso e per le quali prevedere azioni mirate, viene effettuata nel piano una stima modellistica¹ della dispersione delle emissioni calcolate precedentemente.

Terminata la parte di modellazione il piano definisce la classificazione del territorio, andando ad integrare la zonizzazione preesistente con le risultanze degli studi del piano.

¹ sistema modellistico ARIA Regional, messo a punto da ARIANET Srl ed ARIA Technologies S.A.

La Regione Lazio con Deliberazione della Giunta Regionale n. 217 del 2012, ha approvato il progetto di "Zonizzazione e Classificazione del Territorio Regionale (aggiornato con D.G.R. n. 536 del 2017) ai sensi degli artt. 3, 4 e 8 del d.lgs. 155/2010", ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente in attuazione dell'art. 3 commi 1 e 2, art. 4 e dei commi 2 e 5 dell'art. 8, del d.lgs. 155/2010 e s.m.i.. Come richiesto dalle Linee Guida del Ministero dell'Ambiente, la procedura di zonizzazione del territorio laziale è stata condotta sulla base delle caratteristiche fisiche del territorio, uso del suolo, carico emissivo e densità di popolazione. Il territorio regionale risulta così suddiviso in 3 Zone per l'Ozono e 4 Zone per tutti gli altri inquinanti.

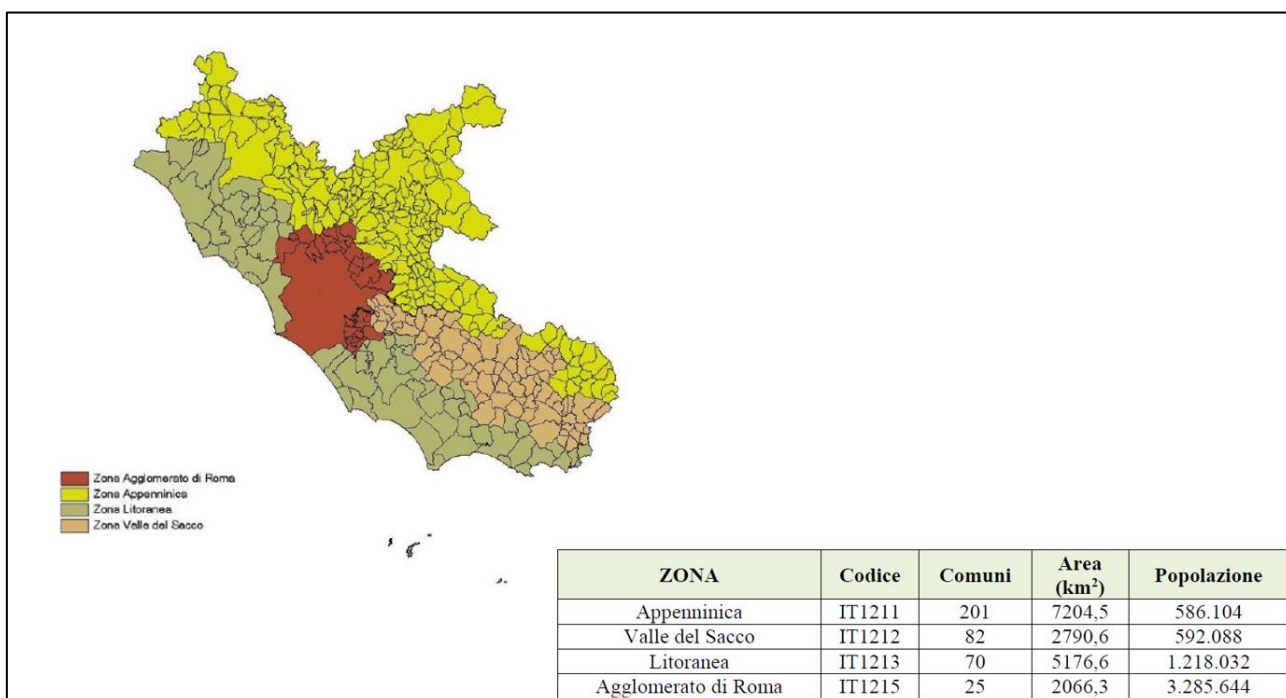


Figura 5-1 Zone del territorio regionale del Lazio per tutti gli inquinanti ad esclusione dell'ozono (fonte: Valutazione della qualità dell'aria della Regione Lazio 2019)

A seguito della zonizzazione del territorio, ciascuna zona o agglomerato è stato classificato allo scopo di individuare le modalità di valutazione della qualità dell'aria in conformità alle disposizioni del d.lgs. 155/2010. In base alla classificazione effettuata ed al numero di abitanti delle zone individuate, il d.lgs. 155/2010 fissa il numero minimo di stazioni da prevedere nella rete di misura per ogni inquinante.

5.2 LA RETE DI MONITORAGGIO

Lo strumento principale per la definizione della qualità dell'aria è costituito dalle centraline per il monitoraggio della qualità dell'aria. Nella Regione Lazio tale rete di centraline è in proprietà e gestita da parte di ARPA Lazio e consta attualmente di 55 postazioni di misura attive².

Le stazioni di misura sono dislocate nell'intero territorio regionale come di seguito indicato:

- 5 stazioni in zona Appenninica;
- 10 stazioni in zona Valle del Sacco;

² fonte <https://www.arpalazio.it/web/guest/ambiente/aria/sistema-di-monitoraggio> ultimo accesso 18.05.2021

- 16 stazioni nell'Agglomerato di Roma;
- 24 stazioni in zona Litoranea.

Nella tabella è riportata la localizzazione delle stazioni per la Zona litoranea, area in cui si configura l'intervento oggetto del presente Studio di Impatto Ambientale, oltre alla loro tipologia (U-urbana, S-suburbana, R-rurale, I-industriale, Background, T-traffico).

Tabella 5-1 Rete automatica di Qualità dell'Aria - Localizzazione delle stazioni Zona litoranea (fonte: ARPA Lazio, Piano di Risanamento della Qualità dell'Aria, anno 2019)

Nome Stazione	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Quota ortometrica (m.s.l.m.)	Tipologia stazione
ALLUMIERE	42,15785	11,90895	542 m s.l.m.	RB
ALLUMIERE ALDO MORO	42,16096	11,900004	467 m s.l.m.	-
APRILIA	41,59536	12,65329	83 m s.l.m.	UB
CIVITAVECCHIA	42,09159	11,80248	26 m s.l.m.	UB
VILLA ALBANI	42,09929	11,79833	34 m s.l.m.	UT
VIA ROMA	42,09412	11,7954	21 m s.l.m.	UT
VIA MORANDI	42,08677	11,80645	22 m s.l.m.	-
PORTO	42,09687	11,78828	6 m s.l.m.	-
AURELIA	42,1373	11,79317	72 m s.l.m.	-
CAMPO ORO	42,08179	11,80936	74 m s.l.m.	UB
FIUMARETTA	42,10215	11,78439	1 m s.l.m.	UT
MONTE ROMANO	42,26858	11,89431	286 m s.l.m.	SB
S. AGOSTINO	42,15998	11,7427	16 m s.l.m.	RB
S. GORDIANO	42,07361	11,8159	87 m s.l.m.	-
FIUMICINO VILLA GUGLIELMI	41,76823	12,23704	21 m s.l.m.	UB
FIUMICINO PORTO	41,77484	12,2234	22 m s.l.m.	-
GAETA PORTO	41,22308	13,57049	4 m s.l.m.	UB
LT DE CHIRICO	41,45113	12,89173	21 m s.l.m.	UT
LT SCALO	41,5314	12,9466	18 m s.l.m.	UT
LT TASSO	41,46402	12,91304	21 m s.l.m.	UT
SANTA MARINELLA	42,04243	11,83349	15 m s.l.m.	-
TARQUINIA	42,2404	11,7664	216 m s.l.m.	RB
TOLFA	42,15245	11,9356	576 m s.l.m.	-

Gli inquinanti rilevati dalla rete sono diversi e dipendono dal tipo e dalla finalità della centralina, tuttavia

possono essere sintetizzati in:

- BTEX – Benzene Toluene Etilbenzene Xilene;
- CO – Monossido di Carbonio;
- NO_x – Ossidi di Azoto;
- O₃ – Ozono;
- PM₁₀ – Particolato inferiore a 10 µm ;
- PM_{2,5} – Particolato inferiore a 2,5 µm;
- SO₂ – Biossido di Zolfo.

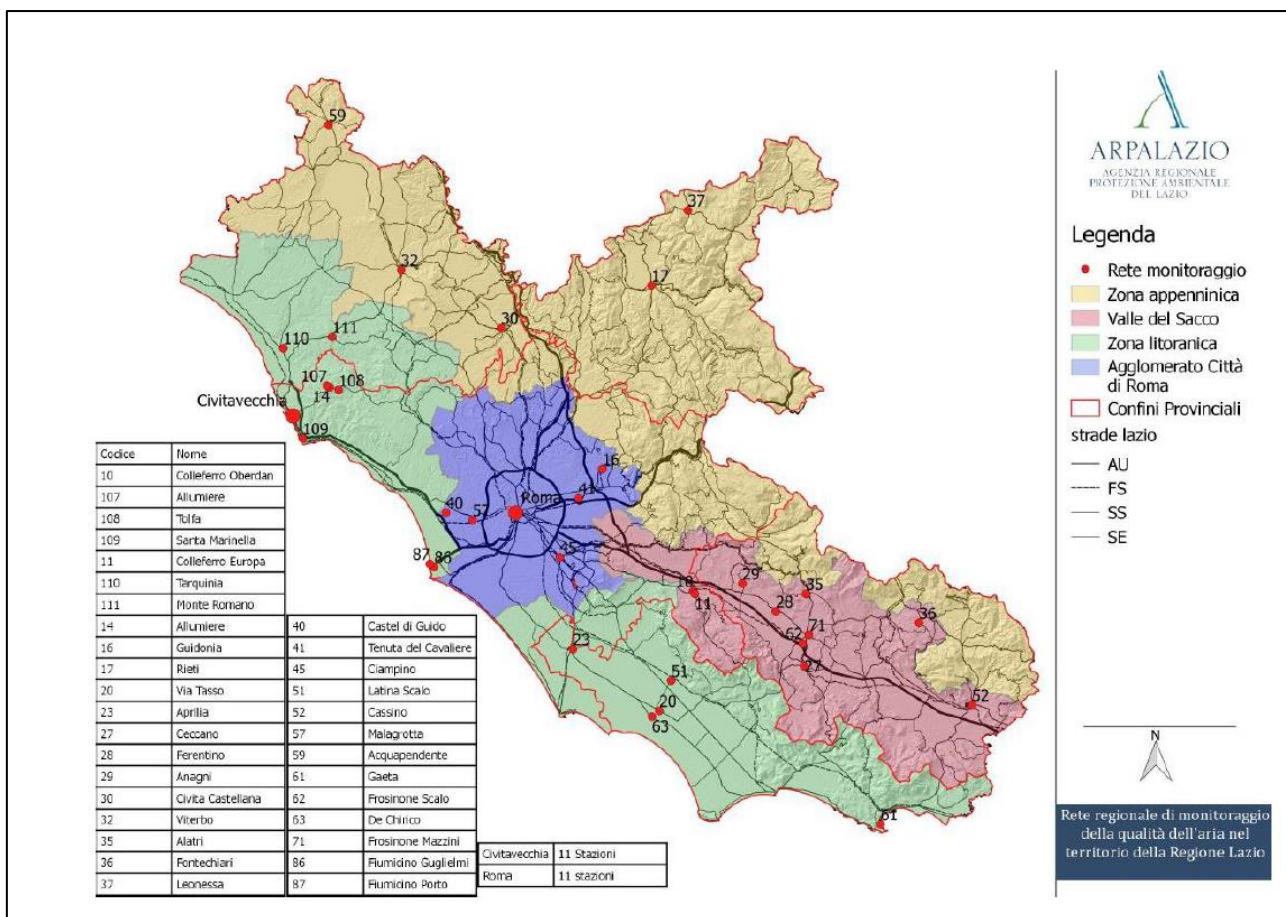


Figura 5-2 Rete di rilevamento fonte: Valutazione della qualità dell'aria della Regione Lazio 2019

5.3 LO SCENARIO ATTUALE: ANALISI DEGLI INQUINANTI MONITORATI

Il seguente paragrafo ha lo scopo di analizzare quantitativamente lo stato attuale della qualità dell'aria in relazione alle centraline ARPA presenti nella zona limitrofa al progetto in esame. Relativamente all'area di studio in cui si colloca il progetto in esame, è stata condotta un'analisi delle centraline presenti nella Zona di interesse al fine di individuare quella più vicina e significativa in termini di tipologia. Tale centralina è rappresentata dalla stazione Monte Romano, localizzata presso il comune di Monte Romano e posta a circa 700 metri di distanza dal progetto, come si può osservare in Figura 5-3.



Figura 5-3 Localizzazione centralina di riferimento rispetto al progetto

La centralina, attiva dal 2016, registra i seguenti parametri:

- Ossidi di azoto (NO_x);
- Biossido di azoto (NO_2);
- Particolato inferiore ai $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}).

Di seguito riportati gli andamenti, in termini di concentrazione, degli inquinati monitorati dalla centralina di riferimento, confrontandoli con i limiti normativi vigenti.

5.3.1 OSSIDI E BLOSSIDI DI AZOTO

Caratteristiche ed effetti sull'uomo e sull'ambiente

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO_2).

Durante le combustioni l'azoto molecolare (N_2) 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 (NO_2), che è quindi un inquinante secondario, perché non emesso direttamente. Il biossido di azoto è "ubiquitario": 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.

Effetti sull'uomo

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente blanda; 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 diminuzione delle difese polmonari con conseguente aumento di rischio di affezioni alle vie respiratorie soprattutto in soggetti bronchitici ed asmatici, negli anziani e nei bambini.

Effetti sull'ambiente

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, lunghi periodi causano invece 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. Da notare che l'abbassamento del pH compromette anche molti processi microbici del terreno, fra cui l'azotofissazione.

Si stima inoltre che gli ossidi di azoto e i loro derivati contribuiscano 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 della centralina di Monte Romano è stato possibile analizzare l'evoluzione negli anni delle concentrazioni di ossidi di azoto registrate. In particolare, è stato preso in considerazione il quinquennio 2017 – 2021. Nella figura sottostante sono riportati i percentili calcolati per l'NO_x nei diversi anni.

Anno	Minimo	Percentili						Max	Media
		50°	80°	85°	90°	95°	99°		
2017	0.0	34.0	42.0	43.0	45.0	49.0	60.0	167.0	30.3
2018	0.0	5.0	10.0	11.0	13.0	18.0	28.0	63.0	6.7
2019	0.0	5.0	9.0	10.0	12.0	15.0	27.0	222.0	6.2
2020	0.0	5.0	8.0	10.0	12.0	16.0	28.0	102.0	6.1
2021	0.0	6.0	10.0	12.0	14.0	18.0	29.0	86.0	7.9

Al fine di agevolare la lettura del dato tabellare sono stati quindi elaborati i grafici mostrati nella Figura 5-4. Quello che è possibile evidenziare è come, ad eccezione dell'anno 2017, le diverse distribuzioni annuali presentino dei trend quantitativamente simile.

Effettuando un'analisi storica di tali valori è emerso che, valutando i massimi annuali, il massimo assoluto è stato registrato nell'anno 2019, con un valore di $202 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre tale valore è minimo nell'anno nell'anno 2018 in cui la centralina ha registrato un valore di $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione media, invece, raggiunge un picco nel 2017, con un valore pari a $30,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e un minimo nel 2020, con un valore di $6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

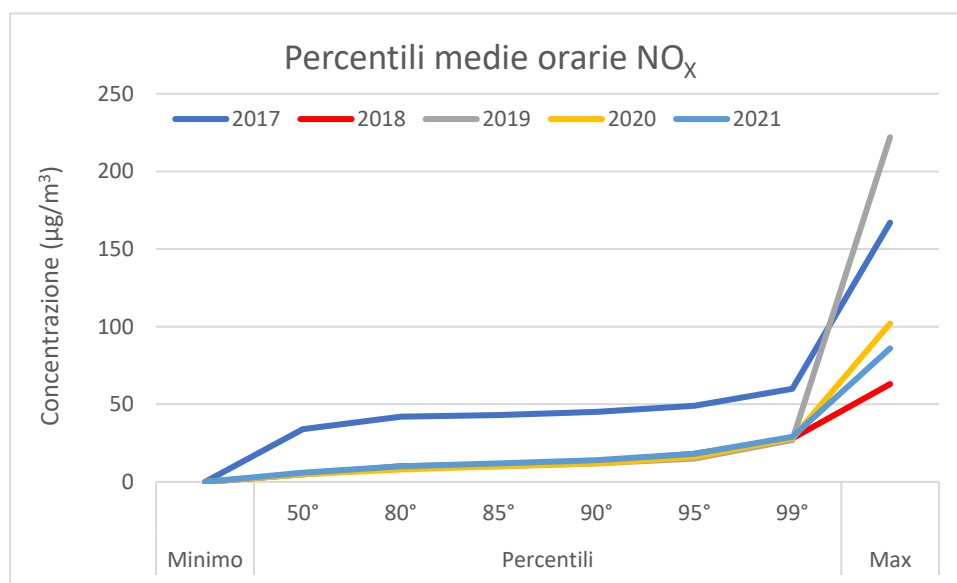


Figura 5-4 Analisi dei percentili, valori minimi e massimi di NO_x calcolati per gli anni 2017 – 2021 calcolati per la centralina di riferimento (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

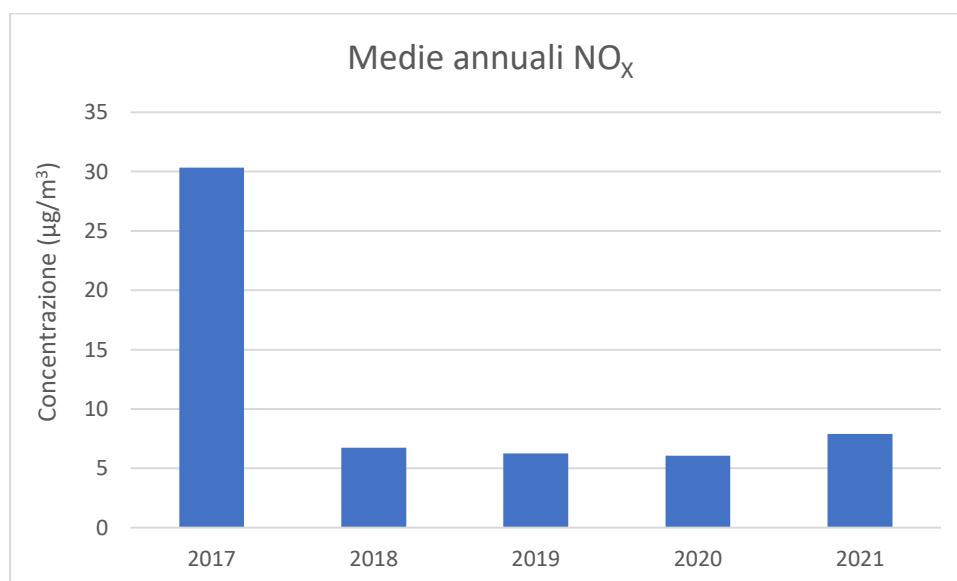


Figura 5-5 Medie annuali NO_x calcolati per gli anni 2017 – 2021 per la centralina di riferimento (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

Nella figura sottostante sono inoltre riportati nel grafico i valori orari di concentrazione di ossi di azoto registrati presso la centralina di Monte Romano per il quinquennio di riferimento. A dimostrazione di quanto detto precedentemente, si può osservare come per l'anno 2017 le concentrazioni registrate presso la centralina siano maggiori, per gran parte dell'anno, rispetto agli altri anni. Per quanto riguarda invece il periodo 2018 – 2021, non si registrano periodi di particolare interesse, in termini di concentrazioni di NO_x registrate.

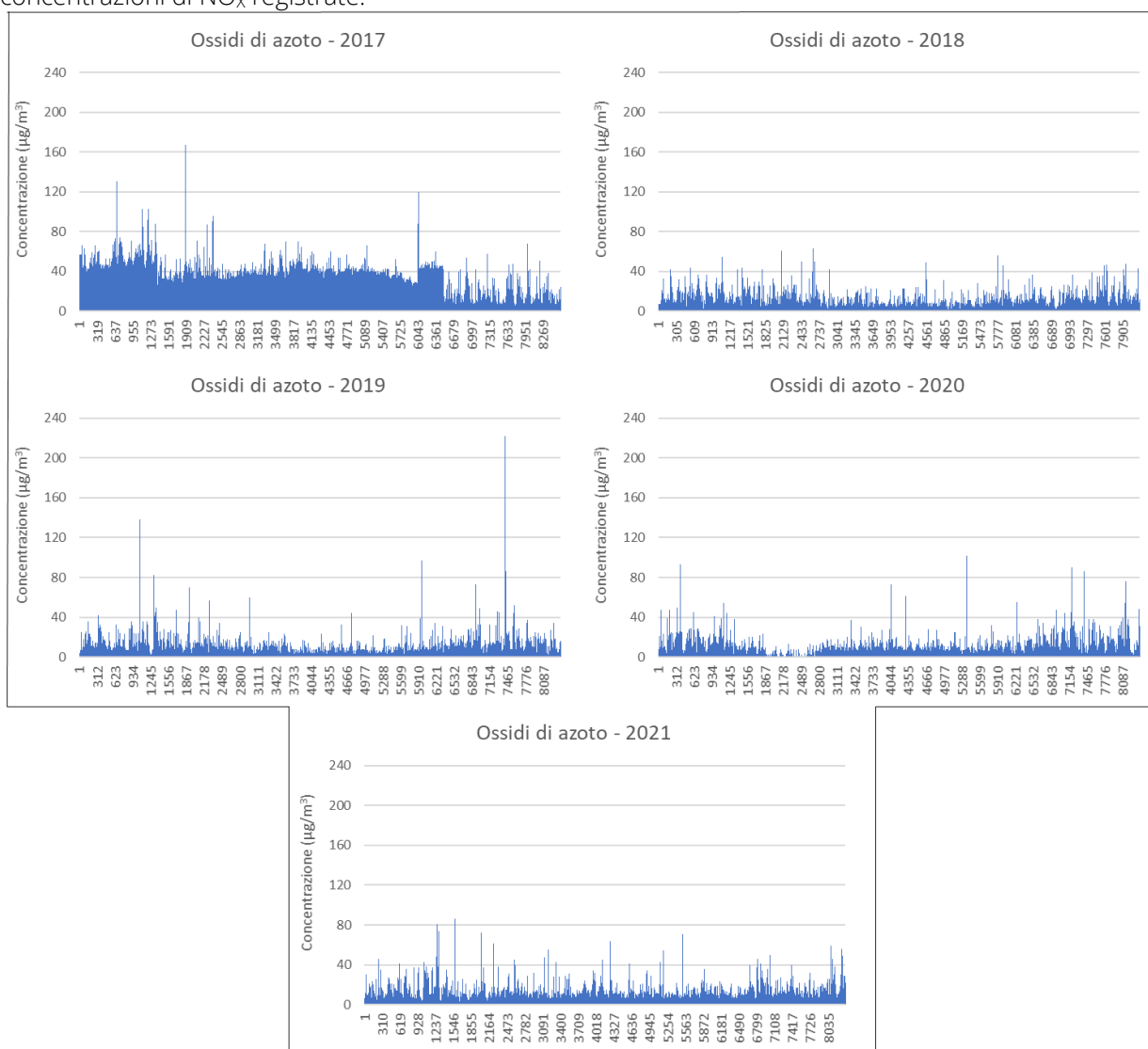


Figura 5-6 Valori orari di NO_x registrati dalla centralina di riferimento per il periodo 2017 – 2021 (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

Concentrazioni di NO₂

I soli ossidi di azoto, tuttavia, non forniscono dati sufficienti ad un'analisi completa del territorio e soprattutto non verificano i limiti normativi sulla salute umana. Pertanto, è stato condotto uno studio analogo anche sul Biossido di Azoto NO₂, i cui valori, calcolati per il periodo di riferimento ed espressi in termini di minimo, massimo e percentile, sono stati riassunti nella figura sottostante.

Anno	Minimo	Percentili						Max	Media
		50°	80°	85°	90°	95°	99°		
2017	0.0	34.0	42.0	43.0	45.0	49.0	60.0	167.0	30.3
2018	0.0	5.0	10.0	11.0	13.0	18.0	28.0	63.0	6.7
2019	0.0	5.0	9.0	10.0	12.0	15.0	27.0	222.0	6.2
2020	0.0	5.0	8.0	10.0	12.0	16.0	28.0	102.0	6.1
2021	0.0	6.0	10.0	12.0	14.0	18.0	29.0	86.0	7.9

In analogia a quanto già visto per gli ossidi di azoto, è possibile rappresentare in forma grafica anche i valori tabellati per l'NO₂. Il primo grafico, proposto nella figura sottostante, mostra la distribuzione, in termini percentili, delle concentrazioni medie orarie registrate. Si può osservare come i valori registrati siano ampiamente al di sotto del limite di legge di 200 µg/m³. Nello specifico, il massimo assoluto è registrato nell'anno 2017 ed è pari a 76 µg/m³. A differenza di quanto già esposto per l'NO_x, le curve rappresentate per il quinquennio di riferimento non registrano ampie variazioni nei valori, mantenendosi pressoché costanti nell'analisi dei percentili. Analogamente a quanto detto per le concentrazioni orarie, anche le concentrazioni medie annue risultano essere nettamente inferiori al limite di legge di 200 µg/m³, variando tra i 4,7 µg/m³ e i 6,4 µg/m³ registrati rispettivamente nell'anno 2020 e 2021

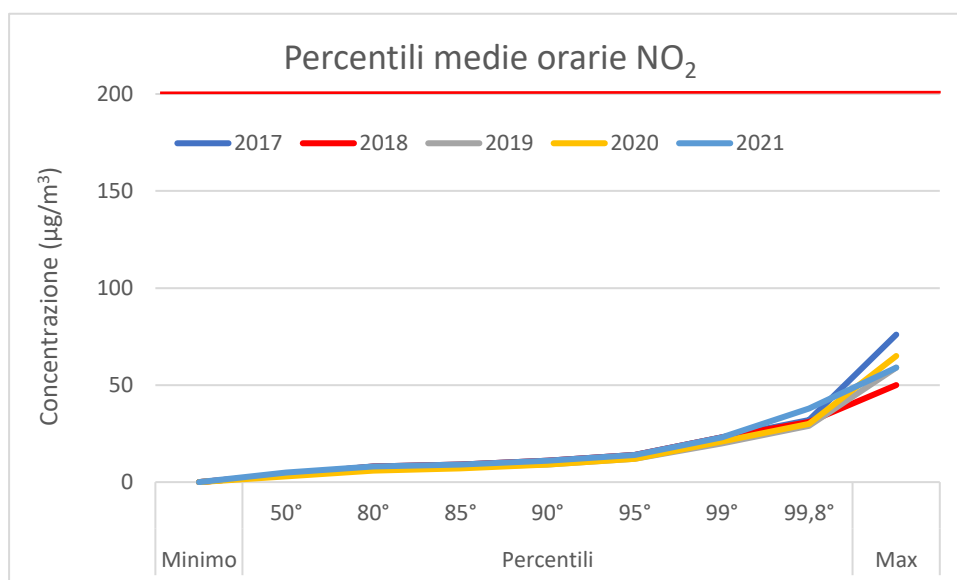


Figura 5-7 Analisi dei percentili, valori minimi e massimi di NO₂ calcolati per gli anni 2017 – 2021 calcolati per la centralina di riferimento (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

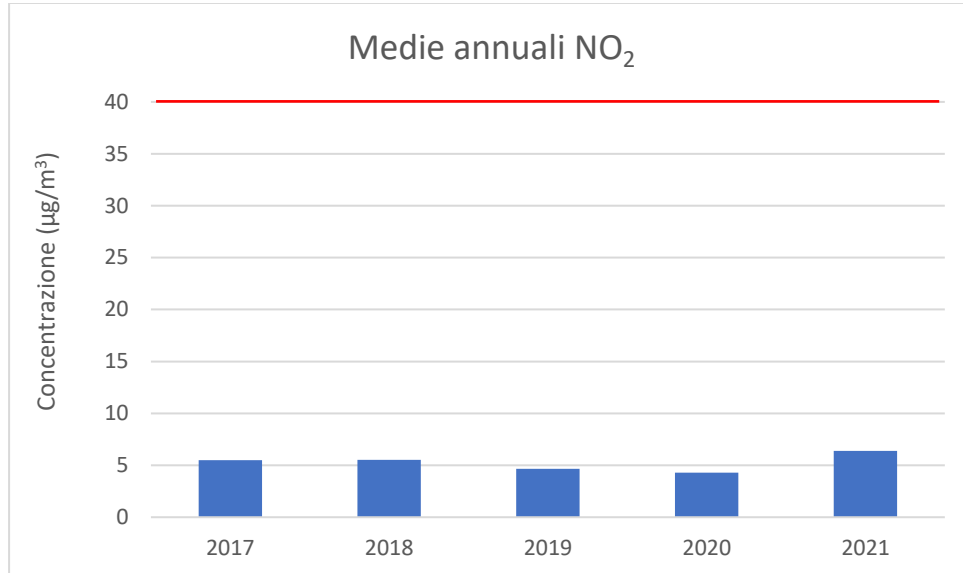


Figura 5-8 Medie annuali NO_x calcolati per gli anni 2017 – 2021 per la centralina di riferimento (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

Nella figura sottostante sono inoltre riportati i valori orari di concentrazione di NO₂ registrati presso la centralina di Monte Romano per il quinquennio di riferimento.

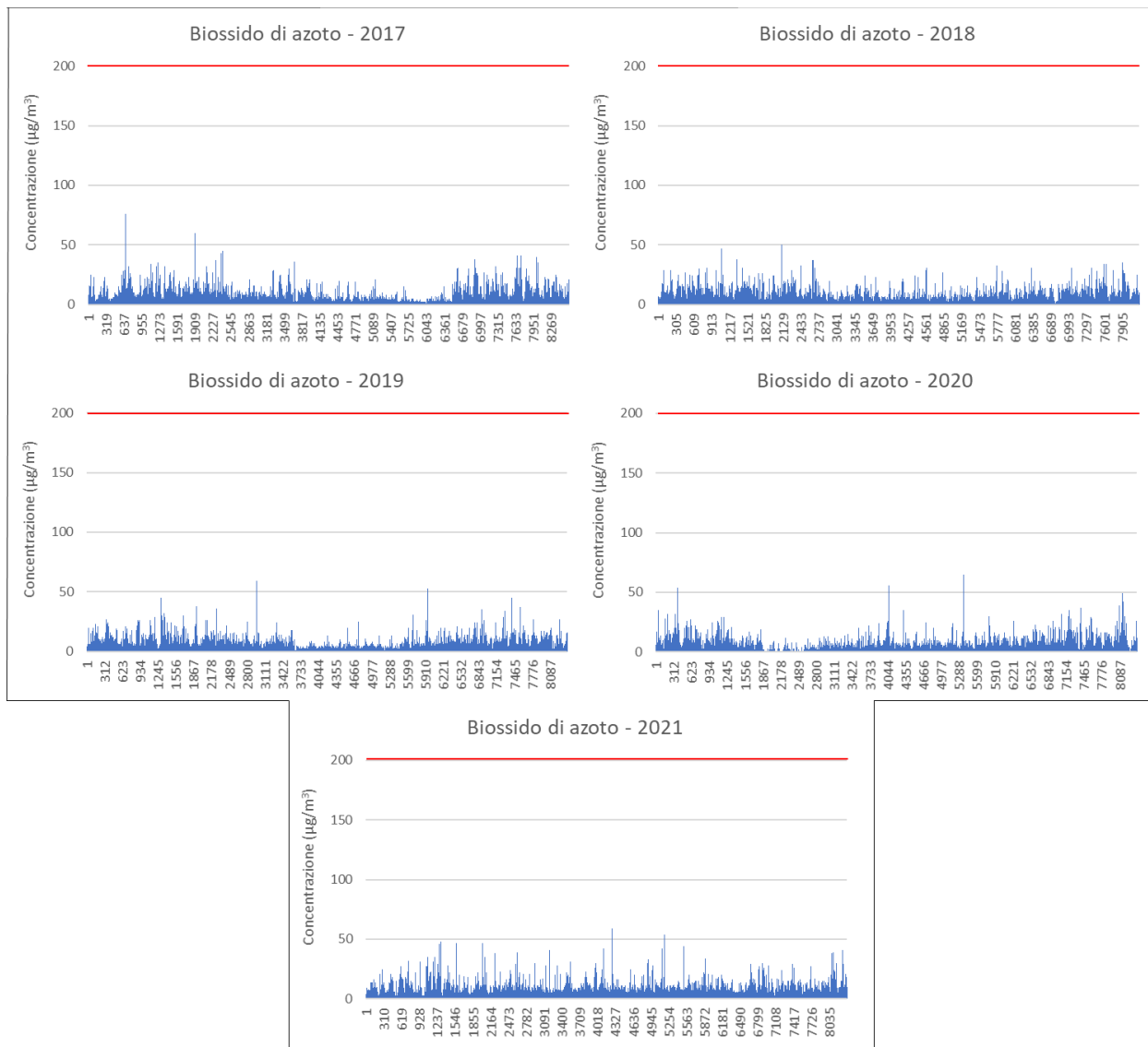


Figura 5-9 Valori orari di NO_x registrati dalla centralina di riferimento per il periodo 2017 – 2021 (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

Relazione NO_x – NO₂

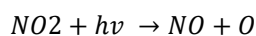
Il dato di partenza delle analisi, con particolare riferimento a quanto calcolato attraverso i modelli di analisi diffusionale degli inquinanti, è relativo agli ossidi di azoto NO_x. Con tale termine generalmente vengono indicate le due componenti più importanti, ovvero l'ossido di azoto NO ed il biossido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

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

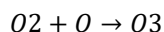
L'insieme di reazioni chimiche che intervengono nella trasformazione di NO in NO₂ è detto ciclo fotolitico.

Tale ciclo può essere schematizzato dalle seguenti reazioni.

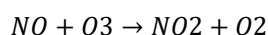
L'NO₂ prodotto nelle ore diurne assorbe energia dalle radiazioni UV, scindendosi in una molecola di NO ed in atomi di ossigeno reattivi



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



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



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

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

Per stimare tali valori esistono alcune leggi di correlazione empirica che permettono di valutare la quota parte di ossidi di azoto che si trasforma in biossido di azoto. Un esempio di valutazione è il metodo "Derwent and Middleton" 1996³ il quale deriva da una stima di tipo empirico basata sul rapporto NO_x-NO₂ ricavato da numerose misure sperimentali nell'area di Londra.

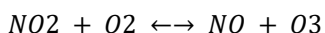
³ Derwent, R.G. and Middleton, D.R., 1996. An empirical function to the ratio NO₂:NO_x. Clean Air, 26: 57-60.

Un altro metodo è quello sviluppato da "Düring et al." nel 2011⁴, anch'esso derivante da studi sperimentali di correlazione effettuati in Germania.

Da ulteriori fonti bibliografiche, "ARPA Emilia Romagna"⁵, è stato evidenziato come il valore del rapporto NO_2/NO_x sia pari al 10% "...si può ritenere che la produzione di NO_2 , 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 NO_2 . Uno studio condotto in Cina (Suqin Han et al., 2011)⁶ ha valutato il rapporto NO_2/NO_x relazionandolo all'ozono, O_3 .

Werner SCHOLZ e Peter RABL, 2006⁷ hanno messo in evidenza come lo sviluppo, nel tempo, dei rapporti NO_2/NO_x e l'ozono O_3 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:

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

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 NO_2 in funzione dei dati rilevati dalle centraline della rete di monitoraggio della qualità dell'aria esposte nei capitoli precedenti.

Nel nostro caso in esame è stata valutata la relazione che intercorre tra le misurazioni orarie di NO_x e NO_2 registrate per l'anno 2021. In particolare, tale analisi è stata condotta partendo dalla rappresentazione delle possibili curve di interpolazione dei dati. Tra tutte le curve di interpolazione, è stata scelta quella con coefficiente di correlazione R^2 maggiore. Nello specifico, tale parametro indica quantitativamente l'entità della correlazione tra le due grandezze prese in considerazione e ha valori compresi tra 0 (correlazione nulla) e 1 (correlazione massima).

Nel caso in esame, la correlazione tra NO_2 e NO_x descrive un primo andamento di tipo parabolico, per poi seguire linearmente. In Figura 5-10, è rappresentata la legge di regressione tra NO_x e NO_2 adottata. L'equazione che descrive la correlazione lineare adottata è invece la seguente:

⁴ Düring I, Bächlin W, Ketzler M, et al. (2011) A new simplified NO/NO_2 conversion model under consideration of direct NO_2 -emissions. Meteorologische Zeitschrift 20:67–73. doi: 10.1127/0941-2948/2011/0491

⁵ Arpa Emilia Romagna

⁶ Analysis of the Relationship between O_3 , NO and NO_2 in Tianjin, China Suqin Han, Hai Bian, Yinchang Feng, Aixia Liu, Xiangjin Li, Fang Zeng, Xiaoling Zhang, 2011

⁷ Unexpectedly low decrease of NO_2 air pollution – Correlation with ozone concentration and altered exhaust emissions Werner SCHOLZ e Peter RABL, 2006

$$\begin{cases} y = -0,0027x^2 + 0,7887x & \text{per } NO_2 \leq 146 \mu g/m^3 \\ y = 0,1x + 44 & \text{per } NO_2 > 146 \mu g/m^3 \end{cases}$$

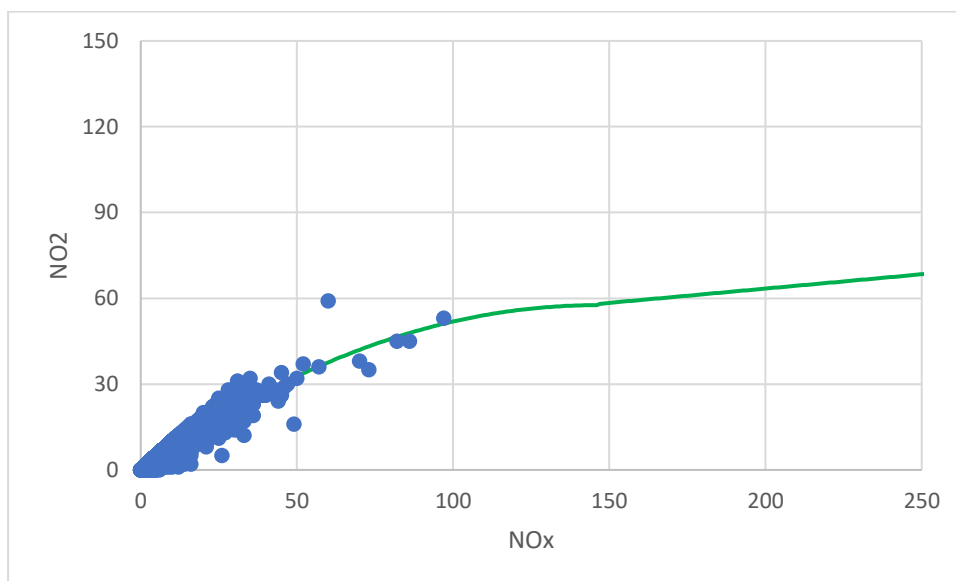


Figura 5-10 Relazione NOx - NO₂ medie orarie [$\mu g/m^3$] (Fonte: elaborazione dati ARPA Basilicata)

5.3.2 PARTICOLATO

Caratteristiche ed effetti sull'uomo e sull'ambiente

Spesso il particolato rappresenta l'inquinante a maggiore impatto ambientale nelle aree urbane, tanto da indurre le autorità competenti a disporre dei blocchi del traffico per ridurre il fenomeno.

Le particelle sospese, anche indicate come PM (Particulate Matter), sono sostanze allo stato solido o liquido che, a causa delle loro piccole dimensioni, restano sospese in atmosfera per tempi più o meno lunghi.

Il particolato nell'aria può essere costituito da diverse sostanze: sabbia, ceneri, polveri, fuliggine, sostanze silicee di varia natura, sostanze vegetali, composti metallici, fibre tessili naturali e artificiali, sali, elementi come il carbonio o il piombo, ecc.

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

- gli aerosol, costituiti da particelle solide o liquide sospese in aria e con un diametro inferiore a 1 micron (1 μm);
- le foschie, date da goccioline con diametro inferiore a 2 micron;
- le esalazioni, costituite da particelle solide con diametro inferiore ad 1 micron 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 micron;
- 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 micron 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).

Effetti sull'uomo

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 micron 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.

Effetti sull'ambiente

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

Il particolato inoltre danneggia i circuiti elettrici ed elettronici, insudicia gli edifici e le opere d'arte e riduce la durata dei tessuti.

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

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

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

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

Concentrazioni PM₁₀

Per analizzare i valori di concentrazione del PM₁₀ sono stati visionati i dati registrati dal 2017 al 2021. Tali dati hanno permesso di comprendere l'evoluzione, in questo arco temporale, dell'inquinante.

Tabella 5-2 Analisi dei percentili, valori minimi e massimi di pm₁₀ calcolati per gli anni 2017 – 2021 calcolati per la centralina di riferimento (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

Anno	Min.	Percentili							Max.	Superamenti	Media
		50°	80°	85°	90°	90,4°	95°	99°			
2017	1,0	16,0	21,0	23,0	25,0	25,0	28,0	37,0	41,0	0	16,5
2018	2,0	17,0	21,0	22,0	25,0	25,0	27,0	39,0	47,0	0	16,7
2019	2,0	15,0	20,0	22,0	24,0	24,0	28,9	46,0	82,0	2	16,1
2020	0,0	15,0	21,0	23,0	26,0	26,0	29,0	41,0	87,0	2	16,4
2021	1,0	15,0	21,0	24,0	27,0	27,0	34,0	50,0	89,0	4	16,9

Come si evince dalla tabella sovrastante e dal grafico nella Figura 5-11, le concentrazioni giornaliere di particolato grossolano registrate nella centralina di riferimento descrivono un trend in aumento. In particolare, nel triennio 2019 – 2021 si registrano superamenti sulla concentrazione giornaliera rispetto al limite normativo, pari a 50 µg/m³. Nello specifico, il valore massimo di superamenti, pari a 4, registrato per il quinquennio di riferimento si è verificato per l'anno 2021. Tale valore risulta comunque di gran lunga inferiore al limite normativo di 35 superamenti consentiti. Per quanto riguarda invece le concentrazioni medie annue, non si registrano superamenti del limite normativo di 40 µg/m³. Come mostrato in Figura 5-12, i valori di particolato grossolano mediati per le annualità di riferimento descrivono un trend costante, variando tra i 16,1 µg/m³ per il 2019 e i 16,9 µg/m³ per il 2021.

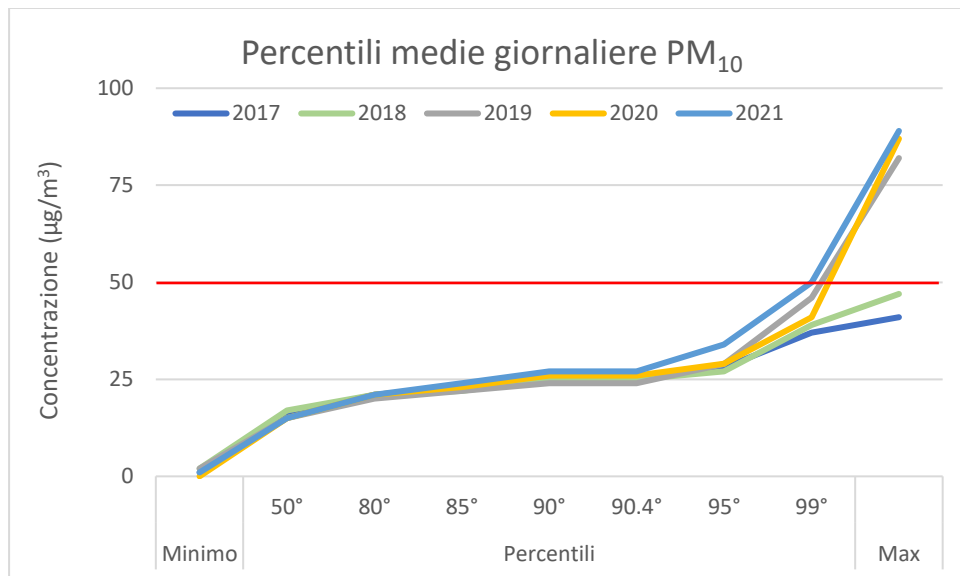


Figura 5-11 Analisi dei percentili, valori minimi e massimi di PM₁₀ calcolati per gli anni 2017 – 2021 calcolati per la centralina di riferimento (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

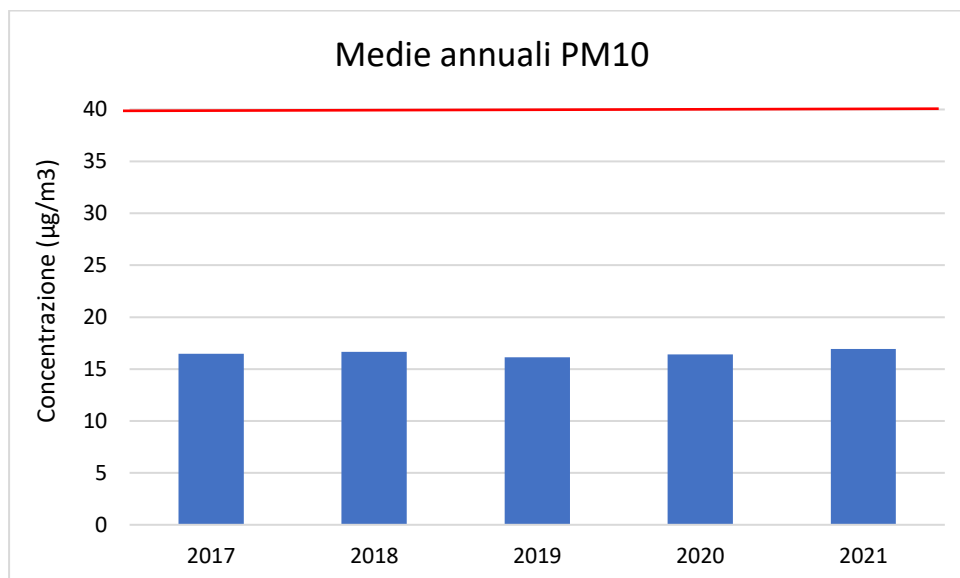


Figura 5-12 Medie annuali NO_x calcolati per gli anni 2017 – 2021 per la centralina di riferimento (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

Nello specifico, per comprendere al meglio la distribuzione temporale dei dati di concentrazione discussi, in Figura 5-13 sono mostrati i valori di media giornaliera di particolato grossolano registrati dalla centralina di Monte Romano per il periodo 2017 – 2021.

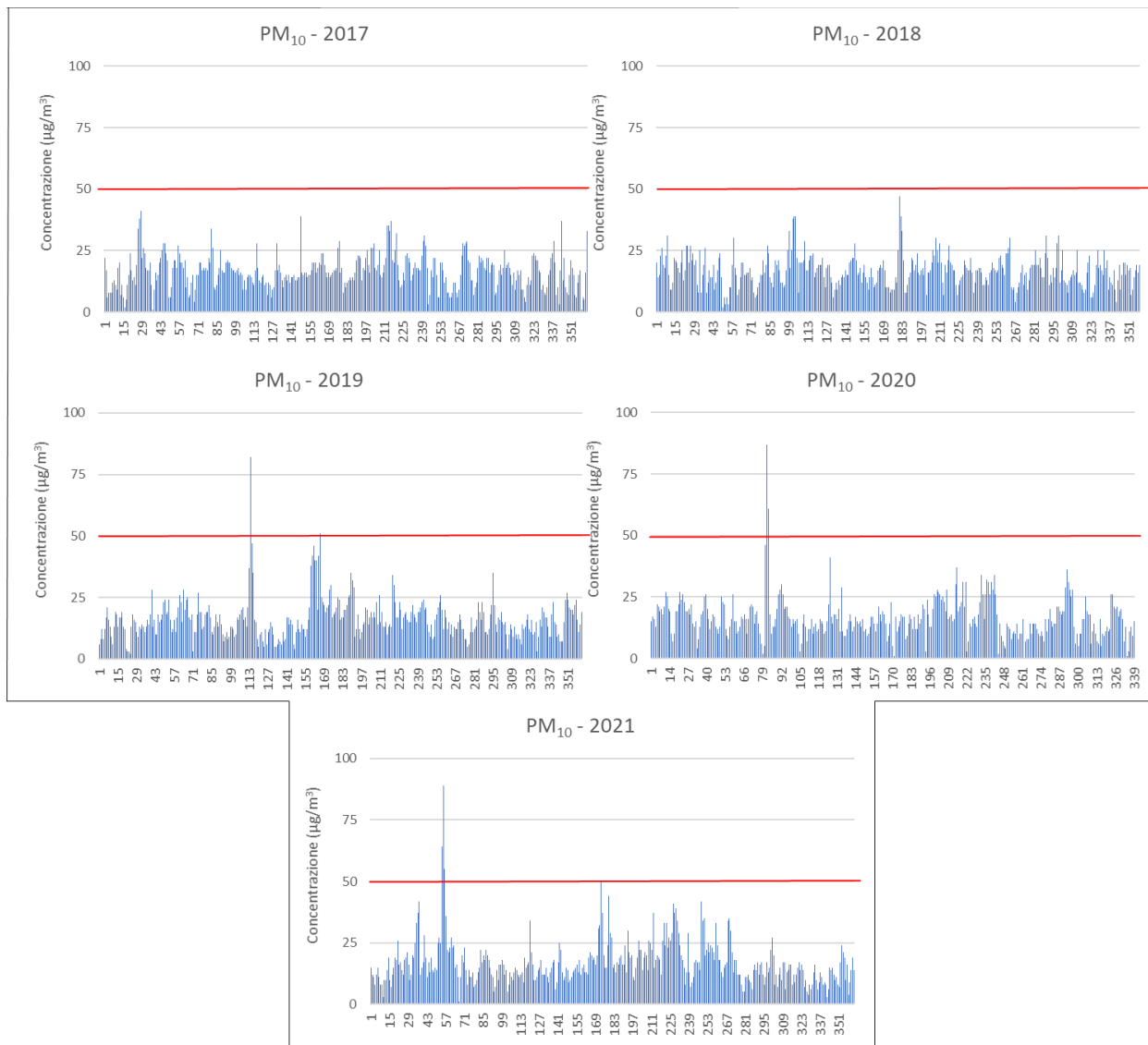


Figura 5-13 Valori orari di PM₁₀ registrati dalla centralina di riferimento per il periodo 2017 – 2021 (fonte: elaborazione dati ARPA Lazio)

5.4 QUADRO SINOTTICO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Nel presente paragrafo si riassumono i valori di qualità dell'aria degli inquinanti di interesse, rilevati dalla centralina regionale più vicina all'area di intervento e rappresentativa della zona in cui il progetto si inserisce, caratterizzata dalla stazione di Monte Romano, dalla quale sono state rilevate le concentrazioni di NO_x, NO₂ e PM₁₀. Questi valori sono ritenuti rappresentativi della qualità dell'aria circostante l'infrastruttura in esame. La Tabella 5-3 nello specifico mostra i valori di riferimento all'anno 2021, anno di riferimento dello scenario attuale per le analisi effettuate.

Inquinante	Valore di qualità dell'aria media annua 2021
Ossido di Azoto – NO _x	7,90 µg/m ³
Biossido di Azoto – NO ₂	6,40 µg/m ³
Particolato – PM10	16,90 µg/m ³

Tabella 5-3 Valori di qualità dell'aria media annua (2021)

I valori riportati in tabella sono stati utilizzati come valori di fondo della qualità dell'aria dell'area di intervento.

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 sopraccitato è lo standard europeo per la valutazione delle emissioni da traffico veicolare stradale. Lo sviluppo del software COPERT è coordinato dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, all'interno delle attività del "European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation". Responsabile dello sviluppo scientifico è il European Commission's Joint Research Centre. Il modello è stato realizzato ed è utilizzato per gli inventari delle emissioni stradali degli stati membri.

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

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

- a) Progetti dedicati finanziati dal Centro comune di ricerca/Trasporti e l'Unità Qualità dell'aria;
- b) Programma annuale di lavoro del "European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC / ACM)";
- c) Programma di lavoro del "European Research Group on Mobile Emission Sources (Ermes)";
- d) Progetto MEET (Methodologies to Estimate Emissions from Transport), una Commissione Europea (DG VII) che ha promosso il progetto all'interno del 4° Framework Program (1996-1998);
- e) Il progetto particolare (Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles), una Commissione europea (DG Transport) PROGETTO nell'ambito del 5° Framework Program (2000-2003);
- f) Il progetto ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems), una Commissione europea (DG Trasporti) PROGETTO nell'ambito del 5° Framework Program (2000-2007);
- g) Il progetto congiunto JRC/CONCAWE/ACEA sull' evaporazione del carburante da veicoli a benzina (2005-2007)⁸.

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.

⁸ Informazioni tratte dal sito <http://www.emisia.com>

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.

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.

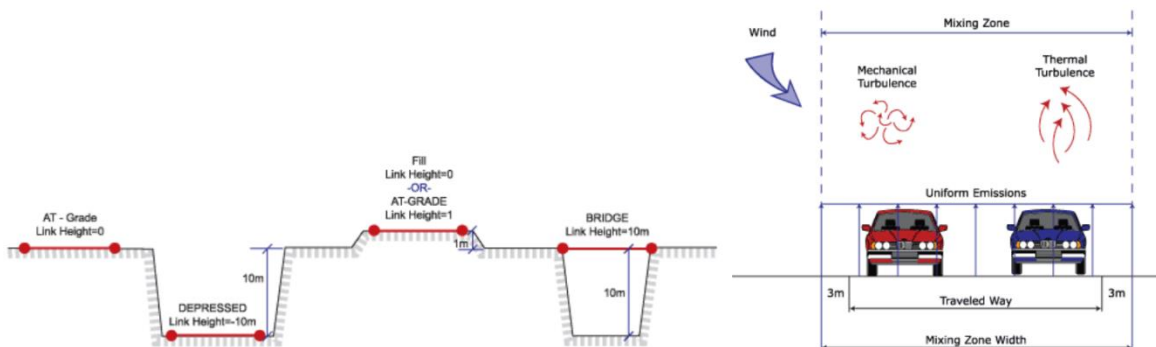


Figura 6-1 Modellazione geometrica del tracciato

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 recettori quali punti di calcolo del modello. I recettori possono essere inseriti come singolo punto, come link di punti o come maglia di punti.

Per quanto riguarda la prima tipologia di recettore, 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 recettori parallela al link selezionato posto ad una distanza D e spaziate 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 recettori 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 Environmental, il quale, partendo dalle informazioni sulle sorgenti e sulle condizioni meteorologiche, fornisce la dispersione degli inquinanti in atmosfera e i relativi livelli di concentrazione al suolo.

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

- Aermod;
- ISCST3;
- ISC-PRIME.

In particolare, AERMOD è un modello di tipo Gaussiano (Steady-state Gaussian plume air dispersion model) basato su un modello di stabilità atmosferica di tipo "Planetary boundary layer theory"⁹, 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.

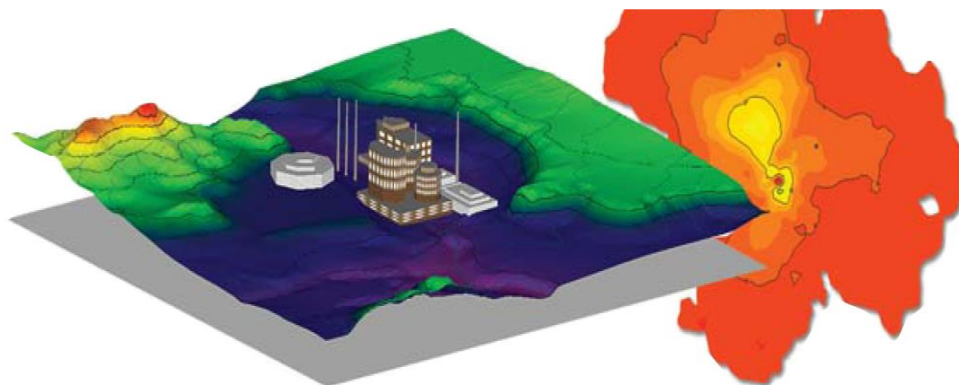


Figura 6-3 Aermod View Esempio di modellazione grafica 3D delle curve di isoconcentrazione

⁹ AERMOD Tech Guide – Gaussian Plume Air Dispersion Model. Version 7.6

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 stessa¹⁰:

- 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 recettori, i quali possono essere punti singolari, o una maglia di punti con passo definito dall'utente.

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

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.

¹⁰ US EPA, User Guide for the AMS EPA regulatory model AERMOD – USA (2004)

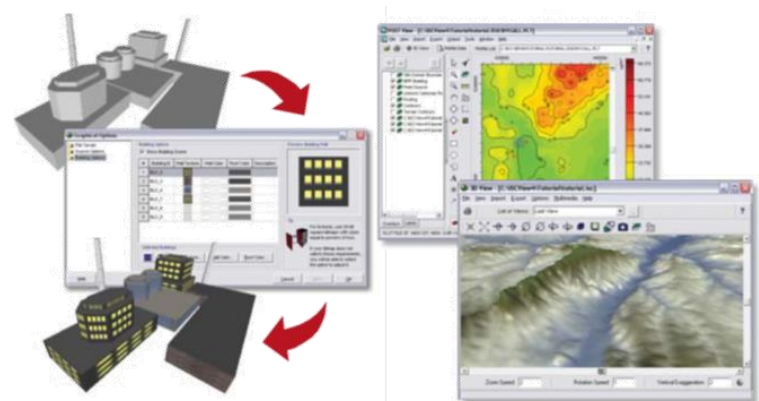


Figura 6-4 Esempio di modulo di visualizzazione 3D integrato nel modello di calcolo

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.

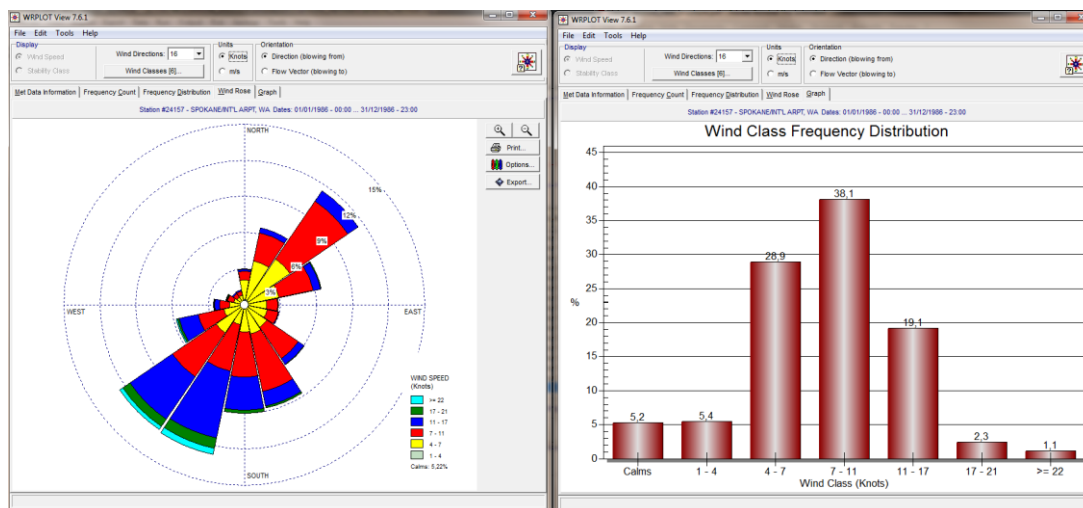


Figura 6-5 Esempio di applicazione del modulo AERMET

Come accennato, l'output del modello è rappresentato dalla stima delle concentrazioni di inquinanti in riferimento ai recettori 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 recettori sensibili.

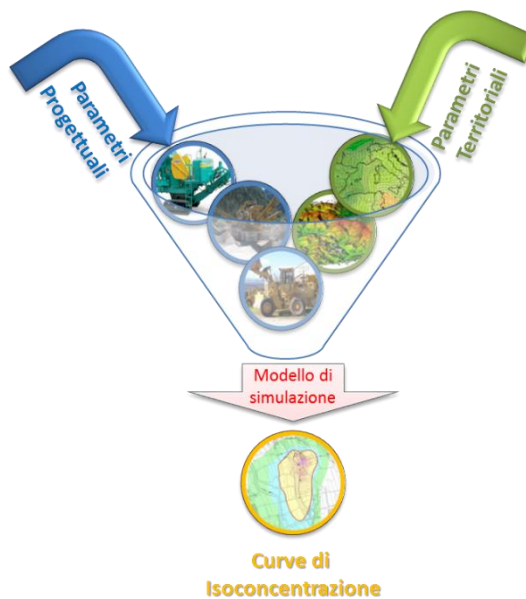


Figura 6-6 Definizione logica del modello adottato

7 LE SIMULAZIONI IN FASE DI 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 (NO_x , CO, C_6H_6 , PM10, PM2,5), e quantificare le modificazioni sulla qualità dell'aria prodotte dal nuovo tracciato in esame.

L'analisi delle concentrazioni in fase di esercizio è stata condotta per un solo scenario, nell'ipotesi di completamento della tratta Monte Romano Est – Civitavecchia. In particolare, è stato scelto come anno di riferimento il 2040.

Per tale scenario, sono stati calcolati i livelli di concentrazione degli inquinanti in prossimità dei recettori puntuali e le curve di isoconcentrazione sull'intera maglia di calcolo, al fine di fornire una rappresentazione grafica delle concentrazioni per ogni inquinante.

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

7.2 GLI INPUT DEL MODELLO DI CALCOLO

7.2.1 INPUT METEOROLOGICI

Uno degli input fondamentali per l'analisi delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera è il dato meteo. Per ricreare lo scenario diffusivo caratteristico del sito simulato è stato necessario costruire un file meteorologico compatibile con il modello di simulazione Calroads. Per lo scenario di progetto sono stati considerati i dati meteoroclimatici misurati dalla stazione di Gioia del Colle (par 3.2) nel 2019.

7.2.2 INPUT PROGETTUALI

7.2.2.1 La rete stradale di riferimento

Le simulazioni modellistiche condotte hanno portato alla stima delle concentrazioni dei principali inquinanti generati dal traffico veicolare. Il tratto d'interesse per la realizzazione del progetto è rappresentato dal tracciato compreso tra gli svincoli di Monte Romano Est e Tarquinia, situati rispetto al progetto di completamento della tratta Monte Romano est – Civitavecchia tra le progressive P.k. 0 + 000 km e 4 + 630 km.



Figura 7-1 Rappresentazione tratto stradale di riferimento

7.2.2.2 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 2020 ("Autoritratto 2020").

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 Lazio), 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;
- trattori stradali, distinti per tipologia di alimentazione;
- autobus, distinti per uso.

Per quanto riguarda la definizione del parco veicolare futuro, rappresentativo dell'anno di riferimento dello scenario di progetto (2040) sono state effettuate delle ipotesi attendibili che tenessero in considerazione l'evoluzione e le nuove tecnologie che porteranno negli anni al rinnovamento del parco veicolare, in termini di emissioni generate. In particolare, si è assunto, in via cautelativa, che le sole classi Euro 0 ed Euro 1 venissero sostituite, aumentando la numerosità delle Euro 6. Questo assunto appare ampiamente cautelativo considerando che lo standard emissivo Euro 2 è stato codificato nel 1997 e pertanto risulta chiaro come un veicolo Euro 2 nel 2040 avrebbe minimo 40 anni.

Di seguito si riporta la composizione del parco veicolare, relativo alla Regione Lazio, sia rispetto allo stato attuale (2020), sia rispetto alla composizione ipotizzata per il 2040, sotto forma tabellare e grafica.

Scenario attuale (2020)

Tabella 7-1 Suddivisione Autovetture prevista per il 2020, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

Autovetture distinte per regione alimentazione e fascia di cilindrata. Anno 2020									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	fino a 1400	205787	39169	156428	166215	393192	212447	350466	1523704
	1401 - 2000	55815	21700	42223	23540	43629	13999	27886	228792
	Oltre 2000	10710	2886	4643	3688	7127	1644	3837	34535
BENZINA Totale		272312	63755	203294	193443	443948	228090	382189	1787031
BENZINA E GAS LIQUIDO	fino a 1400	9432	1707	7018	7887	84181	50002	94352	254579
	1401 - 2000	10485	4002	7678	4650	15293	8517	10571	61196
	Oltre 2000	995	377	776	624	1415	82	23	4292
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		20912	6086	15472	13161	100889	58601	104946	320067
BENZINA E METANO	fino a 1400	365	94	393	461	10456	8424	5547	25740
	1401 - 2000	322	180	482	649	2204	35	22	3894
	Oltre 2000	42	22	34	23	171	16		308
BENZINA E METANO Totale		729	296	909	1133	12831	8475	5569	29942
GASOLIO	fino a 1400	7242	399	821	42334	174069	92265	39420	356550
	1401 - 2000	28277	7485	46628	156586	262249	239184	317761	1058170
	Oltre 2000	21226	6256	19400	39845	43539	27116	27473	184855
GASOLIO Totale		56745	14140	66849	238765	479857	358565	384654	1599575
IBRIDO BENZINA	fino a 1400					58	508	15953	16519
	1401 - 2000			1		430	5766	37131	43328
	Oltre 2000					183	152	4726	5061
IBRIDO BENZINA Totale		0	0	1	0	671	6426	57810	64908
LAZIO Totale		350698	84277	286525	446502	1038196	660157	935168	3801523

Tabella 7-2 Suddivisione Veicoli industriali leggeri prevista per il 2020, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

Veicoli industriali leggeri distinti per regione alimentazione e tipologia. Anno 2020									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5	4738	2446	3049	2379	1711	1184	1115	16622
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5	701	284	208	221	1557	843	1735	5549
BENZINA E METANO	Fino a 3,5	40	21	53	139	1253	1660	1709	4875
GASOLIO	Fino a 3,5	37618	20345	36765	57311	58039	37018	43736	290832
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5						2	223	225
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5					2		414	416
LAZIO Totale		43097	23096	40075	60050	62562	40707	48932	318519

Tabella 7-3 Suddivisione Veicoli industriali pesanti prevista per il 2020, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

Veicoli industriali pesanti distinti per regione alimentazione e tipologia. Anno 2020									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5	317	12	9	1	5	2		346
GASOLIO	3,6 - 7,5	9314	1321	2663	2983	1180	1661	986	20108
	7,6 - 12	6197	964	1905	2118	404	1148	778	13514
	12,1 - 14	1285	79	138	218	62	166	162	2110
	14,1 - 20	2785	584	1250	1543	285	1790	856	9093
	20,1 - 26	4344	725	1771	2098	248	1817	1219	12222
	26,1 - 28	34	1	3	4		4	37	83
	28,1 - 32	42	77	425	1003	184	668	499	2898
	Oltre 32	101	23	25	32	7	7	8	203
GASOLIO Totale		24102	3774	8180	9999	2370	7261	4545	60231
LAZIO Totale		24470	3789	8205	10022	2380	7332	4655	60577

Tabella 7-4 Suddivisione Autobus prevista per il 2020, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

Autobus distinti per regione e uso. Anno 2020								
USO	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
Noleggio	347	70	439	413	301	756	1098	3424
Privato	469	94	245	236	93	125	47	1309
Pubblico	366	77	944	1922	442	1713	1768	7232
Altri usi	36	1	14	6		2		59
LAZIO Totale	1218	242	1642	2577	836	2596	2913	12024

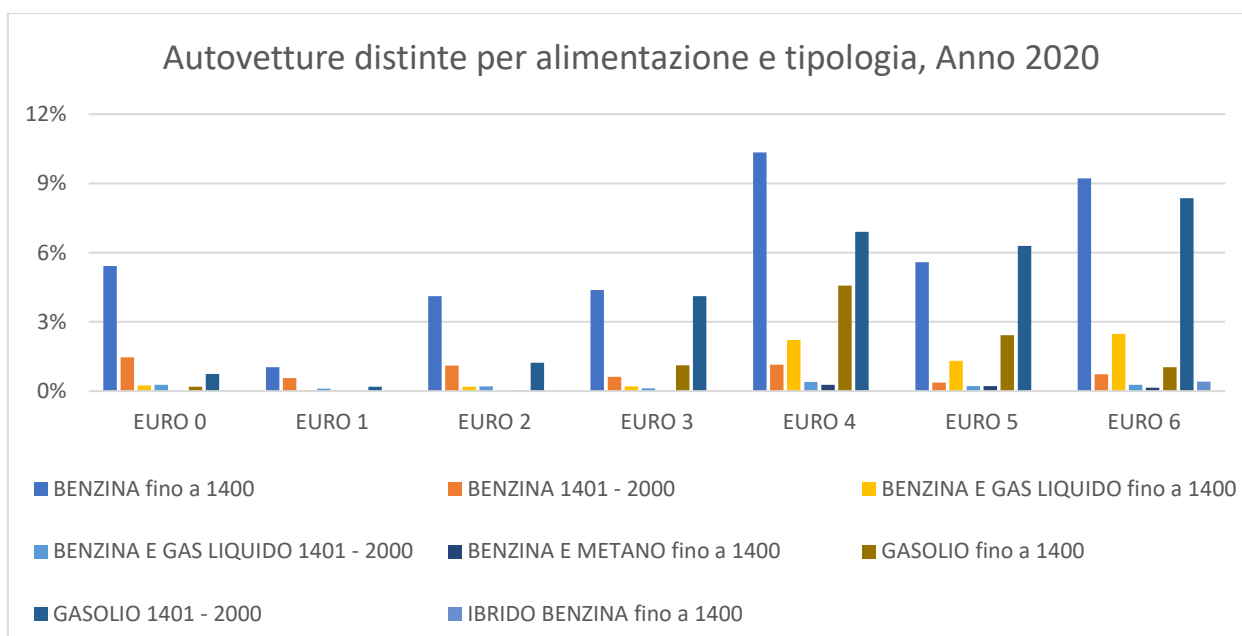


Figura 7-2 Suddivisione percentuale Autovetture prevista al 2020, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

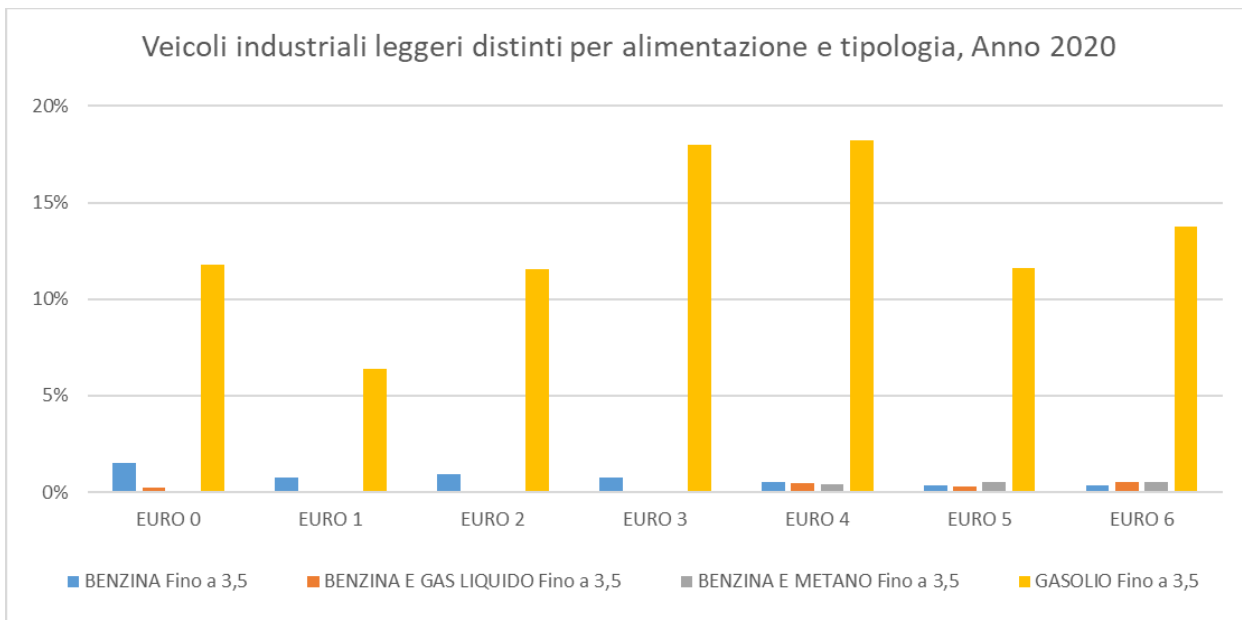


Figura 7-3 Suddivisione percentuale Veicoli industriali leggeri prevista al 2040, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

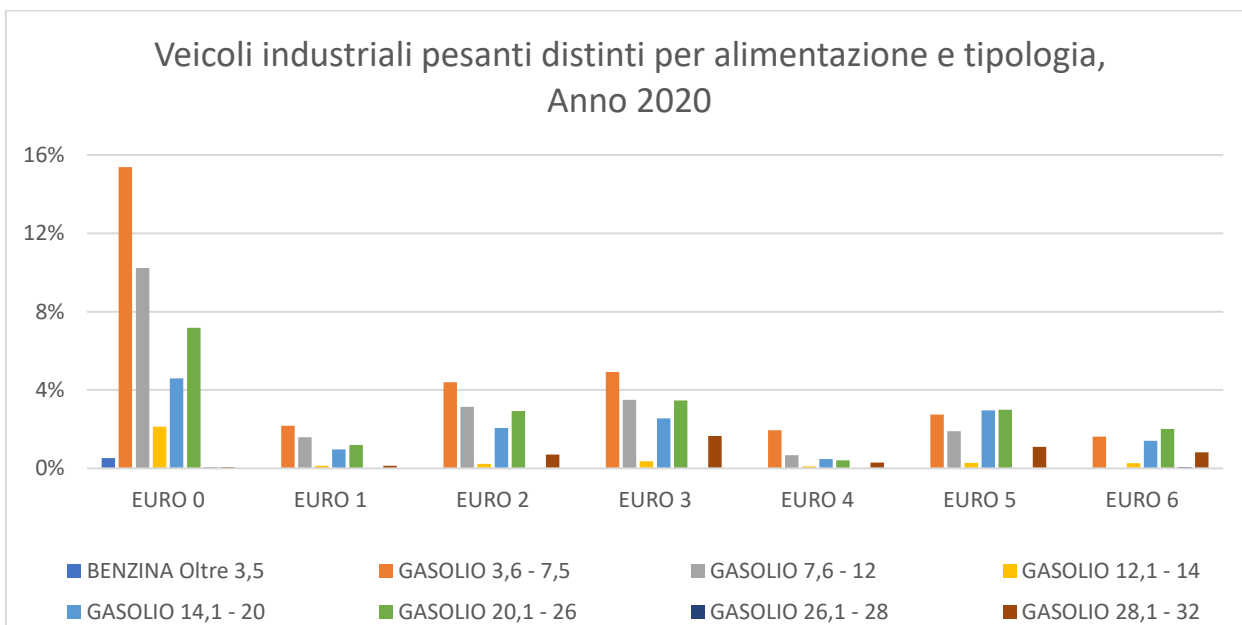


Figura 7-4 Suddivisione percentuale Veicoli industriali pesanti prevista al 2020, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

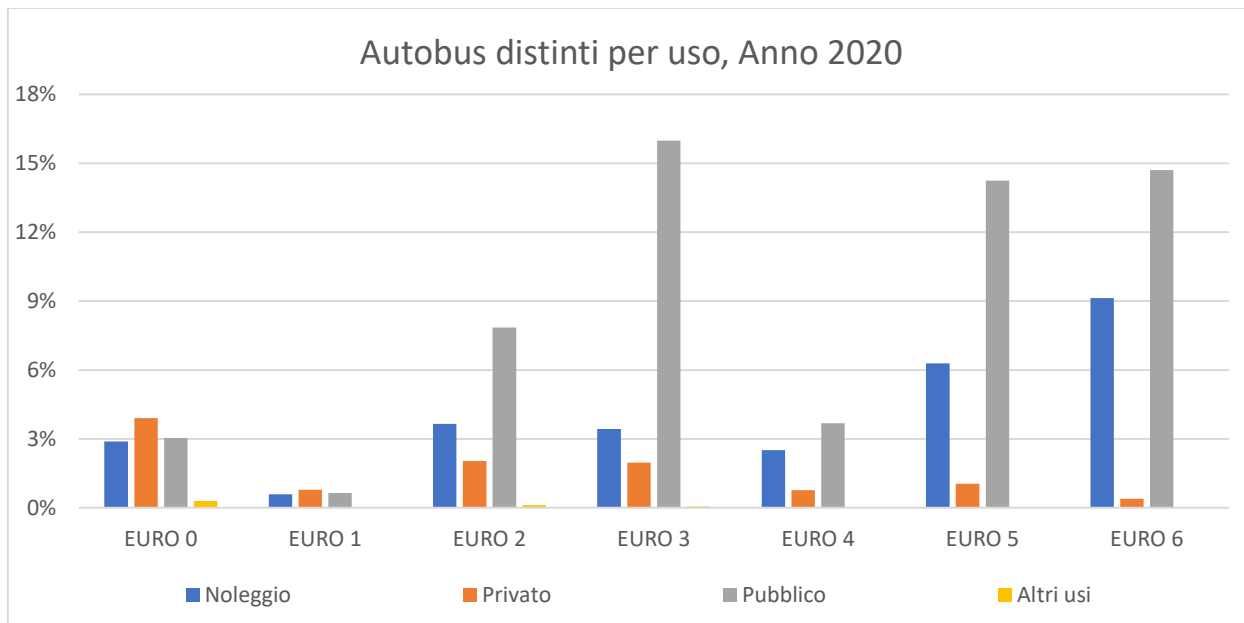


Figura 7-5 Suddivisione percentuale Autobus prevista al 2020, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

Scenario di progetto (2040)

Tabella 7-5 Suddivisione Autovetture prevista per il 2040, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

Autovetture distinte per regione alimentazione e fascia di cilindrata. Anno 2040							
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	fino a 1400	156428	166215	393192	212447	595422	1523704
	1401 - 2000	42223	23540	43629	13999	105401	228792
	Oltre 2000	4643	3688	7127	1644	17433	34535
BENZINA Totale		203294	193443	443948	228090	718256	1787031
BENZINA E GAS LIQUIDO	fino a 1400	7018	7887	84181	50002	105491	254579
	1401 - 2000	7678	4650	15293	8517	25058	61196
	Oltre 2000	776	624	1415	82	1395	4292
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		15472	13161	100889	58601	131944	320067
BENZINA E METANO	fino a 1400	393	461	10456	8424	6006	25740
	1401 - 2000	482	649	2204	35	524	3894
	Oltre 2000	34	23	171	16	64	308
BENZINA E METANO Totale		909	1133	12831	8475	6594	29942
GASOLIO	fino a 1400	821	42334	174069	92265	47061	356550
	1401 - 2000	46628	156586	262249	239184	353523	1058170
	Oltre 2000	19400	39845	43539	27116	54955	184855
GASOLIO Totale		66849	238765	479857	358565	455539	1599575
IBRIDO BENZINA	fino a 1400			58	508	15953	16519
	1401 - 2000	1		430	5766	37131	43328
	Oltre 2000			183	152	4726	5061
IBRIDO BENZINA Totale		1	0	671	6426	57810	64908
LAZIO Totale		286525	446502	1038196	660157	1370143	3801523

Tabella 7-6 Suddivisione Veicoli industriali leggeri prevista per il 2040, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

Veicoli industriali leggeri distinti per regione alimentazione e tipologia. Anno 2040							
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5	3049	2379	1711	1184	8299	16622
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5	208	221	1557	843	2720	5549
BENZINA E METANO	Fino a 3,5	53	139	1253	1660	1770	4875
GASOLIO	Fino a 3,5	36765	57311	58039	37018	101699	290832
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5				2	223	225
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5			2		414	416
LAZIO Totale		40075	60050	62562	40707	115125	318519

Tabella 7-7 Suddivisione Veicoli industriali pesanti prevista per il 2040, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

Veicoli industriali pesanti distinti per regione alimentazione e tipologia. Anno 2020							
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5	9	1	5	2	329	346
GASOLIO	3,6 - 7,5	2663	2983	1180	1661	11621	20108
	7,6 - 12	1905	2118	404	1148	7939	13514
	12,1 - 14	138	218	62	166	1526	2110
	14,1 - 20	1250	1543	285	1790	4225	9093
	20,1 - 26	1771	2098	248	1817	6288	12222
	26,1 - 28	3	4		4	72	83
	28,1 - 32	425	1003	184	668	618	2898
Oltre 32	25	32	7	7	132	203	
GASOLIO Totale		8180	9999	2370	7261	32421	60231
LAZIO Totale		8205	10022	2380	7332	4655	60577

Tabella 7-8 Suddivisione Autobus prevista per il 2040, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

Autobus distinti per regione e uso. Anno 2020						
USO	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
Noleggio	439	413	301	756	1515	3424
Privato	245	236	93	125	610	1309
Pubblico	944	1922	442	1713	2211	7232
Altri usi	14	6		2	37	59
LAZIO Totale	1642	2577	836	2596	4373	12024

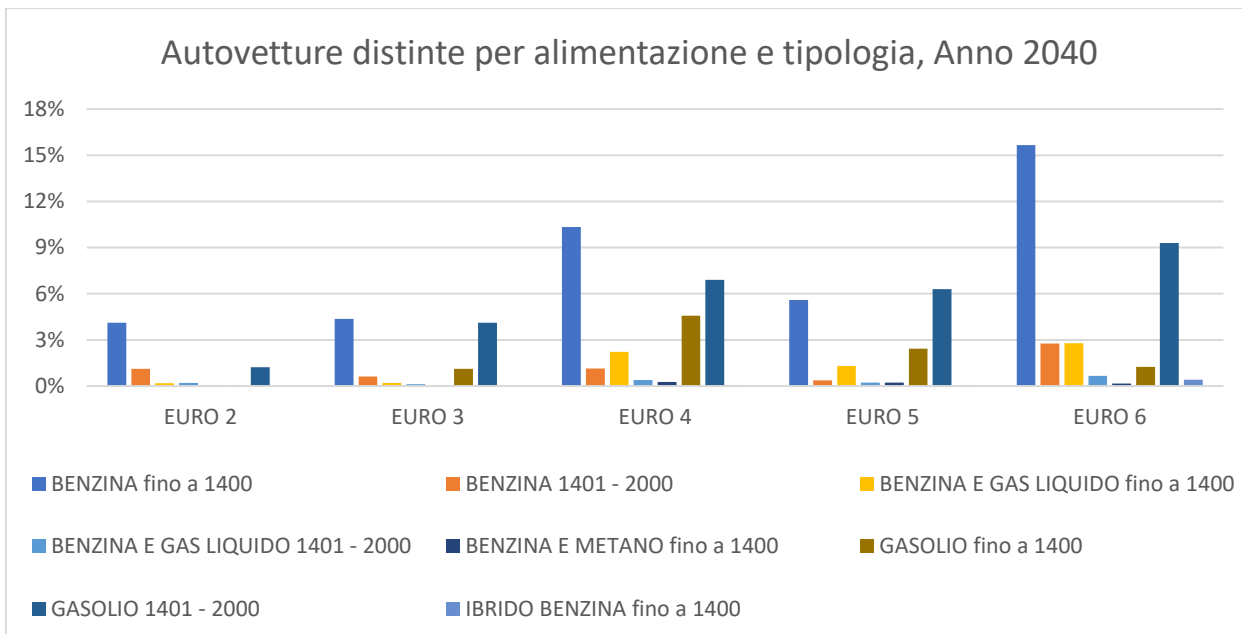


Figura 7-6 Suddivisione percentuale Autovetture prevista al 2040, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

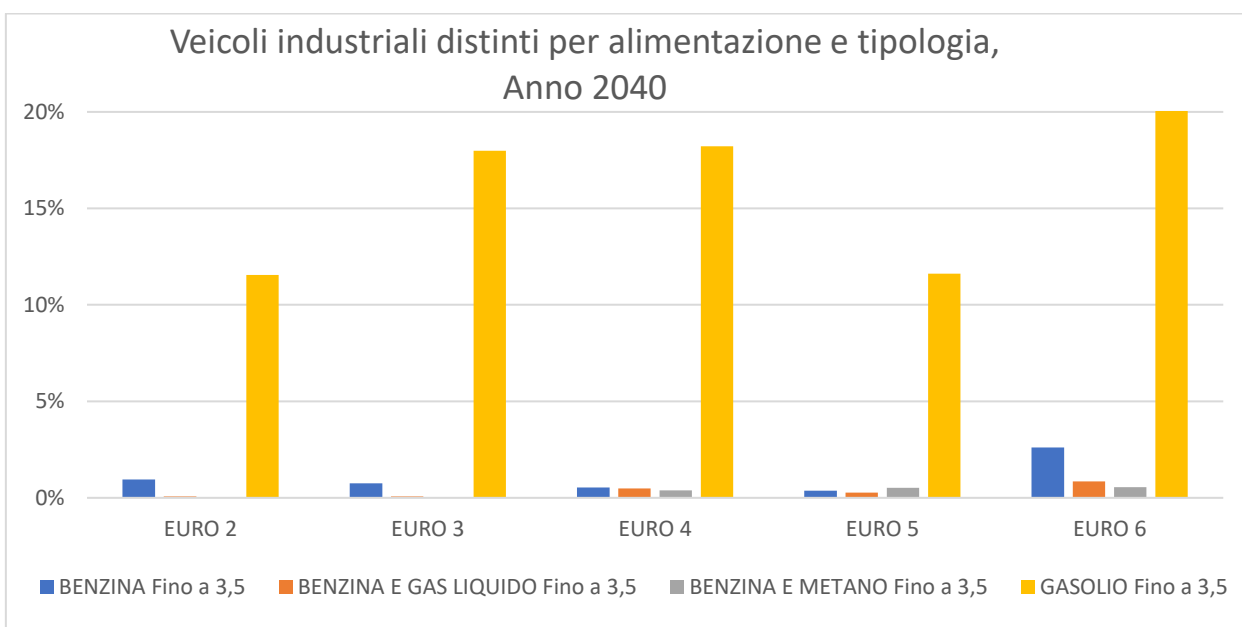


Figura 7-7 Suddivisione percentuale Veicoli industriali leggeri prevista al 2040, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2019)

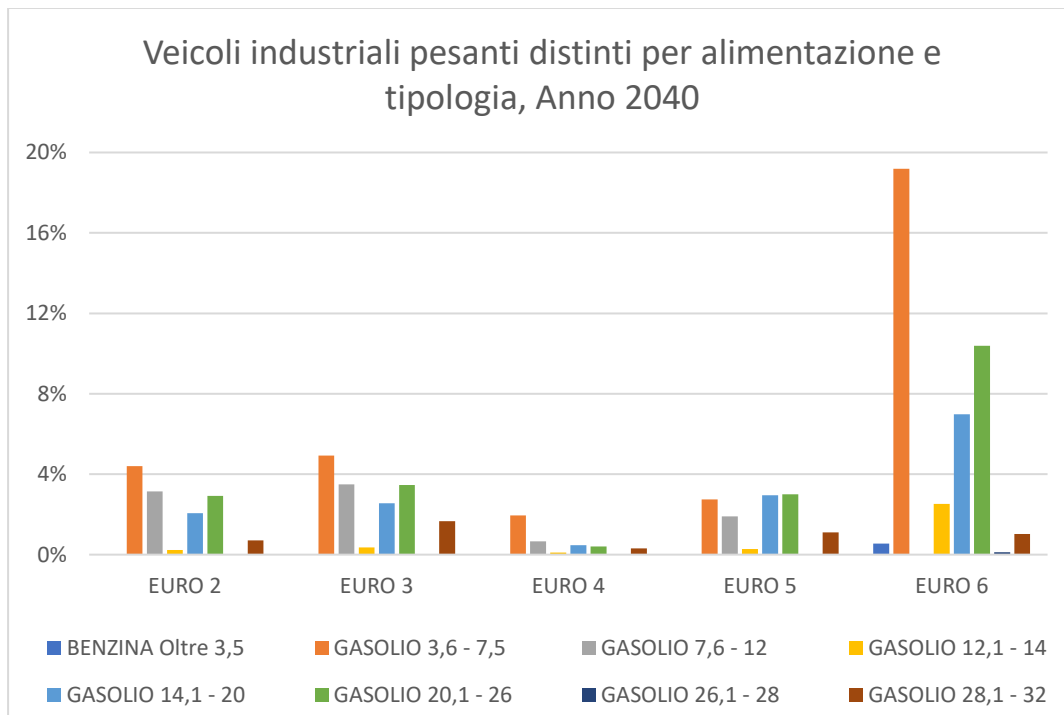


Figura 7-8 Suddivisione percentuale Veicoli industriali pesanti prevista al 2040, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

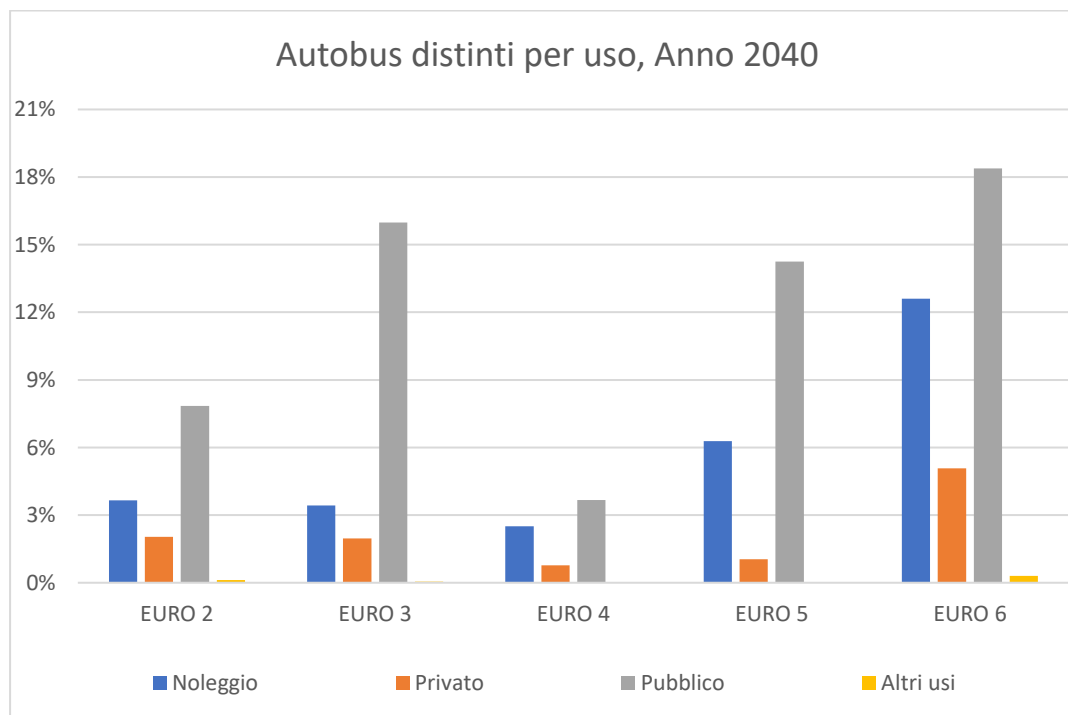


Figura 7-9 Suddivisione percentuale Autobus prevista al 2040, Regione Lazio (Fonte: Elaborazione da dati ACI Autoritratto 2020)

7.2.2.3 Volumi e velocità del traffico circolante

Tra gli input fondamentali del modello si sottolineano i flussi veicolari circolanti sui singoli archi della rete con le relative velocità medie di esercizio associate.

Di seguito si riportano i valori di traffico giornaliero medio (TGM) ipotizzato, su ogni arco, sia per i veicoli leggeri che pesanti, per lo scenario di progetto relativo all'anno 2040, nell'ipotesi di completamento della tratta Monte Romano Est – Civitavecchia..

Tabella 7-9 Dati di traffico e velocità medie per lo scenario di progetto 2040

ID	Veicoli leggeri		Veicoli pesanti	
	TGM	Velocità (km/h)	TGM	Velocità (km/h)
17916	4411	110	942	90
17912	4802	110	1029	90
17919	4565	110	942	90
17971	334	40	0	40
17895	391	40	88	40
17896	154	40	0	40
17902	4519	110	962	90
17920	154	40	0	40
17970	4361	110	945	90
17978	4027	110	945	90
17979	491	40	17	40

Come si evince dalla tabella, è stata assunta una velocità media di percorrenza per l'asse stradale di progetto della SS675 pari a 110 km/h per i veicoli leggeri e di 90 km/h per i veicoli pesanti per entrambi i sensi di marcia, mentre per gli svincoli di Monte Romano Est e Tarquinia le velocità di percorrenza sono state ridotte a 40 km/h per entrambe le tipologie di veicolo per entrambe le carreggiate.

7.2.2.4 I fattori di emissione

Come definito nei paragrafi precedenti, dalla conoscenza della tipologia di parco veicolare circolante e dalla velocità è stato possibile determinare un fattore di emissione per ogni inquinante, per i veicoli leggeri e pesanti.

In particolare, una volta analizzato il parco veicolare presente, si è ricavata la percentuale di veicoli per ogni tipologia di veicolo. Per ognuna di queste si è effettuato il prodotto con il valore di picco dell'inquinante in ambito urbano, ottenuto come output da Copert, e si sono ottenuti i fattori di emissione della singola tipologia di veicolo. Si è poi effettuato il calcolo finale relativo alla determinazione del fattore di emissione per la totalità dei veicoli leggeri e per quella dei pesanti.

Gli inquinanti considerati con Copert sono stati NO₂, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5} e benzene.

Le velocità considerate, in coerenza con i range accettati dalla metodologia Copert, sono state 90 km/h e 110 km/h lungo l'asse principale rispettivamente per i veicoli pesanti e leggeri, mentre per gli svincoli è

stato utilizzato un unico valore per entrambe le tipologie di veicoli pari a 40 km/h. Nelle tabelle seguenti sono riportati i fattori di emissione relativi al CO, all'NO_x, al PM₁₀, al PM_{2.5} e al benzene in funzione delle velocità.

Tabella 7-10 Fattore di emissione veicoli leggeri e pesanti Scenario di progetto 2040

Inquinanti	Velocità [Km/h]	Fattore di emissione leggeri [g/km*veic]	Fattore di emissione pesanti [g/km*veic]
CO	40	0,20	0,63
	90	-	0,48
	110	0,42	-
NO _x	40	0,24	2,63
	90	-	1,12
	110	0,26	-
PM ₁₀	40	0,0078	0,0378
	90	-	0,0312
	110	0,0122	-
PM _{2,5}	40	0,0047	0,0227
	90	-	0,0187
	110	0,0073	-
C ₆ H ₆	40	0,058	0,014
	90	-	0,009
	110	0,063	-

7.2.2.5 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 7-11

Tabella 7-11 Coordinate maglia dei punti di calcolo scenario di progetto 2040

Coordinate del centro della maglia Asse X	739257,93
Coordinate del centro della maglia Asse Y	4684144,72
Passo lungo l'asse X	100
Passo lungo l'asse Y	80

N° di punti lungo l'asse X	50
N° di punti lungo l'asse Y	40
N° di punti di calcolo totali	2005

Al fine di poter effettuare la sovrapposizione degli effetti tra i valori di esercizio, i valori di fondo ed il contributo del cantiere, si è fatto riferimento a cinque punti ricettore rappresentativo 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.

Tabella 7-12 Coordinate ricettori discreti scenario di progetto 2040

Recettore	Coordinata X (m)	Coordinata Y (m)
R1	737678,30	4683864.02
R2	737914.90	4683726.76
R3	738153.35	4683921.49
R4	739552.80	4684568.25
V1	737657.73	4683327.15

Nello specifico, il ricettore V1, situato all'interno della Zona di Protezione Speciale "Comprensorio Tolferano – Cerite – Manziato" è stato scelto per valutare la qualità dell'aria relativa alla salvaguardia della vegetazione, mentre i restanti ricettori sono stati scelti in corrispondenza di edifici residenziali per valutare la salvaguardia della salute umana.

7.2.3 I RISULTATI DELL'ANALISI ALLO STATO DI PROGETTO

7.2.3.1 Aspetti generali

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 NO_x – Esercizio 2040" (codice T00IA31AMBPL15A);
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni CO – Esercizio 2040" (codice T00IA31AMBPL16A);
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni PM₁₀ – Esercizio 2040" (codice T00IA31AMBPL17A);
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni PM_{2,5} – Esercizio 2040" (codice T00IA31AMBPL18A);
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni benzene – Esercizio 2040" (codice T00IA31AMBPL19A).

Analizzando nello specifico le concentrazioni dei singoli inquinanti, di seguito si riportano quelle calcolate per lo scenario di progetto in prossimità dei ricettori individuati.

7.2.3.2 L'analisi delle Concentrazioni di NO_x sui recettori

Di seguito viene riportato il valore di concentrazione media annua di biossido di azoto calcolato per il ricettore vegetazionale considerato V1. Come si evince dai risultati, tale valore, comprensivo del valore di fondo, è comunque inferiore al limite normativo di 30 µg/m³.

Tabella 7-13 Valori di concentrazione media annua di NO_x – Scenario di progetto 2040

Recettore	Concentrazione media annua di NO _x stimata [µg/m ³]	Concentrazione media annua di NO _x registrato dalla centralina [µg/m ³]	Concentrazione media annua di NO _x totale [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
V1	7,64	7,90	15,54	30

7.2.3.3 L'analisi delle Concentrazioni di NO₂ sui recettori

Tabella 7-14 Valori di concentrazione media annua di NO₂ – Scenario di progetto 2040

Ricettore	Concentrazione media annua di NO ₂ [µg/m ³]			Limite normativo [µg/m ³]
	Stimata	Registrato dalla centralina	Totale	
R1	3,18		9,58	40
R2	9,92		16,32	
R3	1,77	6,40	8,17	
R4	13,35		19,75	

Tabella 7-15 Percentili e valori massimi e minimi orari NO₂ – Scenario di progetto 2040

Ricettore	Min [µg/m ³]	Percentili [µg/m ³]					Max [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
		50°	85°	90°	95°	99,8°		
R1	≈0	0,13	7,34	10,35	15,30	29,61	29,78	200
R2	≈0	3,98	21,25	26,37	34,57	106,04	119,97	
R3	≈0	0,02	3,84	5,73	8,56	44,31	62,28	
R4	≈0	12,36	25,79	29,90	38,01	73,49	78,84	

Anche per quanto riguarda il biossido di azoto, le concentrazioni medie annue e i massimi orari sono ampiamente al di sotto dei rispettivi valori normativi. In particolare, il ricettore residenziale dove sono state stimate concentrazioni di biossido di azoto maggiori risultano essere il ricettore R4 per quanto riguarda la media annua e il ricettore R2 per la massima concentrazione oraria, nei quali si stima una concentrazione di rispettivamente 19,75 µg/m³ e 119,79 µg/m³.

7.2.3.4 L'analisi delle Concentrazioni di PM10 sui recettori

Tabella 7-16 Valori di concentrazione media annua di PM₁₀ – Scenario di progetto 2040

Ricettore	Concentrazione media annua di NO ₂ [µg/m ³]			Limite normativo [µg/m ³]
	Stimata	Registrato dalla centralina	Totale	
R1	0,11	16,90	17,01	40
R2	0,37		17,27	
R3	0,06		16,96	
R4	0,49		17,39	

Tabella 7-17 Percentili e valori massimi e minimi giornalieri PM₁₀ – Scenario di progetto 2040

Ricettore	Min [µg/m ³]	Percentili [µg/m ³]					Max [µg/m ³]	Limite normativo [µg/m ³]
		50°	85°	90°	95°	99,8°		
R1	≈0	0,12	0,21	0,24	0,27	0,34	0,42	50
R2	≈0	0,35	0,63	0,69	0,77	0,98	1,12	
R3	≈0	0,05	0,13	0,15	0,19	0,26	0,37	
R4	≈0	0,51	0,71	0,76	0,84	0,99	1,11	

Analogamente a quanto già detto per il biossido di azoto, anche per il particolato grossolano le concentrazioni medie annue stimate, sommate al fondo, sono ampiamente al di sotto del valore normativo di 40 µg/m³, registrando un massimo in corrispondenza del ricettore R4, dove il totale medio annuo è inferiore al 50% del limite normativo. Anche per quanto riguarda le concentrazioni medie giornaliere, non si registrano valori di particolare interesse rispetto al limite normativo di 50 µg/m³, dove il massimo viene sempre raggiunto dal ricettore R2 con una concentrazione stimata di 1,12 µg/m³.

Sulla base dei risultati emersi attraverso la stima diffusiva per il particolato grossolano, 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.

7.2.3.5 L'analisi delle Concentrazioni di CO sui recettori

Di seguito si riportano i valori di concentrazione massima media di 8 ore consecutive di CO emersi dalle simulazioni dello scenario di progetto in prossimità dei punti recettori di riferimento al fine di effettuare la verifica con il limite normativo.

Tabella 7-18 Valori di concentrazione massima mediata su 8 ore di CO – Scenario di progetto 2040

Ricettore	Concentrazione massima mediata su 8 ore di CO [mg/m ³]			Limite normativo [mg/m ³]
	Stimata	Registrato dalla centralina	Totale	
R1	0,023		0,023	10
R2	0,073		0,073	
R3	0,034		0,034	
R4	0,051		0,051	

Dall'analisi dei livelli di concentrazione di CO, non sono emersi superamenti del valore normativo. Il ricettore residenziale dove è stata stimata il valore massimo è risultato essere R2, dove la concentrazione massima mediata su 8 ore di CO è pari a 0,073 mg/m³, ampiamente al di sotto del limite normativo di 10 mg/m³.

Contrariamente a quanto fatto per i precedenti inquinanti analizzati, per l'anidride carbonica non è stato possibile sommare al valore ottenuto tramite simulazione diffusiva, il rispettivo valore di fondo. Volendo però analizzare il massimo mediato su 8 ore ottenuto sui ricettori, è possibile evidenziare come le concentrazioni registrate risultano essere per tutti i ricettori inferiori all'1% del limite normativo.

7.2.3.6 L'analisi delle Concentrazioni di C₆H₆ sui ricettori

Tabella 7-19 Valori di concentrazione media annua di benzene – Scenario di progetto 2040

Ricettore	Concentrazione media annua di benzene [µg/m ³]			Limite normativo [µg/m ³]
	Stimata	Registrato dalla centralina	Totale	
R1	0,41		0,41	5
R2	1,28		1,28	
R3	0,23		0,23	
R4	1,73		1,73	

Anche per quanto riguarda il benzene non è stato possibile ottenere il valore complessivo del fondo perché tale inquinante non è monitorato dalla centralina di Monte Romano. Sulla base delle considerazioni fatte anche per il monossido di carbonio, anche i valori di concentrazione stimati sono comunque nettamente inferiori al limite normativo e di almeno il 34%.

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, sono state condotte delle simulazioni modellistiche.

In particolare, come effettuato nel proseguo della trattazione, sono state in primo luogo individuate le sorgenti emissive, rappresentate nello specifico da sorgenti areali in cui è prevista la movimentazione del materiale polverulento e la frantumazione delle rocce (aree di stoccaggio, aree di lavorazione) 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 relative alla movimentazione del materiale.

Al fine di stimare le concentrazioni di polveri (PM10 e PM2,5) prodotte dalle attività di cantiere è stato utilizzato il software di simulazione Aermod View. Per quanto riguarda, invece, la stima delle concentrazioni degli inquinanti derivanti dal traffico di cantiere (PM10, PM2,5, NOx e NO₂) è stato utilizzato il software Calroads.

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

8.2 LA STIMA DELLE POLVERI PRODOTTE DALLE ATTIVITÀ DI CANTIERE

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, sono state condotte delle simulazioni modellistiche.

In particolare, come effettuato nel proseguo della trattazione, sono state in primo luogo individuate le sorgenti emissive, rappresentate, nello specifico dalle sorgenti areali in cui è prevista la movimentazione del materiale polverulento e la frantumazione delle rocce (aree di stoccaggio, aree di lavorazione).

Al fine di stimare le concentrazioni di NOx, NO₂, PM10 e PM2,5 prodotte dalle sorgenti, si è utilizzato il software Aermod View.

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, Aermod, denominato Aermet.

I file meteorologici necessari sono due, uno descrittivo delle condizioni meteorologiche 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 meteorologica al suolo, il software Aermet richiede di inserire un file, con

estensione ".dat", contenente le informazioni caratterizzanti i giorni di cui si voglia studiare la dispersione.

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

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

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

1614919010100030030110410404
1614919010101030350050390707
1614919010102030040050390707

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 "16149";
- 6-7: indicano l'anno che si sta considerando; l'esempio riguarda l'anno 2019 che viene indicato con le ultime due cifre "19";
- 8-9: viene specificato il mese, nell'esempio siamo a gennaio: "01";
- 10-11: anche il giorno viene indicato con due cifre, nell'esempio siamo al primo giorno di gennaio: "01";
- 12-13: si specifica l'ora, lasciando vuota la prima casella nel caso di numeri ad una sola cifra;
- 14-16: viene indicata l'altezza a cui si trovano le nuvole, espressa in centinaia di piedi;
- 17-18: indicano la direzione del vento, espressa come decine di gradi (esempio $130^\circ = 13$);
- 19-21: si indica la velocità del vento, espressa in nodi (001 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 FAA¹¹ 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 Estimator¹².

8.2.1.2 Dati orografici

Il secondo gruppo di parametri territoriali da definire è legato all'orografia del territorio in cui l'opera si innesta. Il software Aermod View, grazie al processore territoriale AERMAP, permette di configurare essenzialmente tre tipologie di territorio così come mostrato in Figura 8-1.

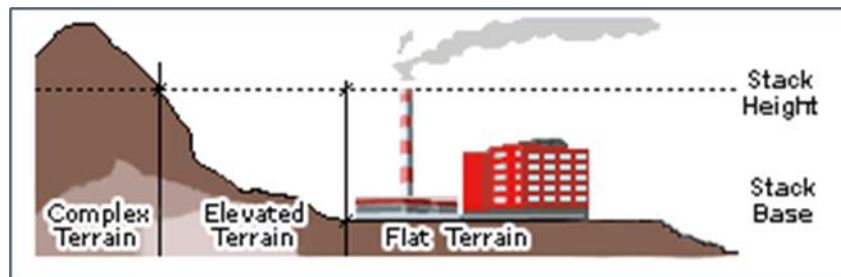


Figura 8-1 Tipologie di configurazioni territoriali

Con riferimento all'area in esame interessata dall'opera in progetto, si è adottata una conformazione del territorio di tipo "elevated" Input progettuali

8.2.1.3 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.

¹¹ http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/

¹² Worldwide Data Quality Effects on PBL Short-Range Regulatory Air Dispersion Models – Jesse L. Thé, Russell Lee, Roger W. Brode

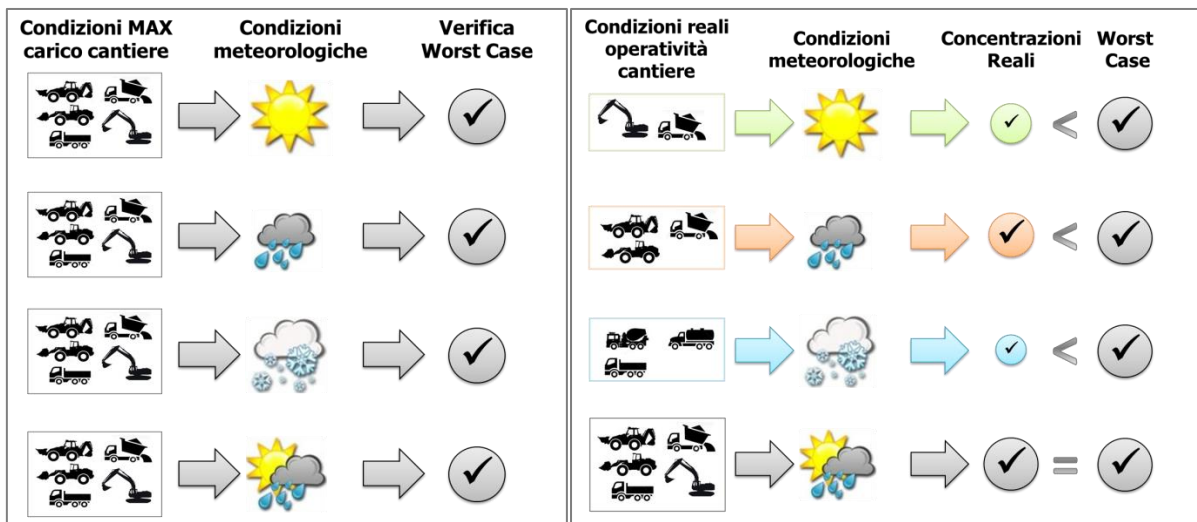


Figura 8-2 Logica delle verifiche con il worst case scenario

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.

8.2.1.4 La definizione degli scenari di simulazione

La stima dei fattori di emissione adottati per stimare, attraverso simulazione emissivo – diffusiva, i livelli di concentrazione generati per ogni singolo inquinante in fase di cantierizzazione, viene effettuata considerando le seguenti attività emissive:

- le lavorazioni previste in ogni area di cantiere considerata;
- l'erosione del vento sui cumuli stoccati;

- le attività dei mezzi d'opera all'interno delle aree di cantiere, in termini di emissione di gas di scarico dei motori, assimilate a sorgenti emissive areali.

Nel caso in esame relativo alla realizzazione della tratta Monte Romano Est – Tarquinia, primo stralcio funzionale del progetto di completamento della tratta Monte Romano Est - Civitavecchia, in funzione della localizzazione delle sorgenti e della contemporaneità delle lavorazioni maggiormente interferenti con la componente atmosferica, nonché della presenza degli elementi sensibili presenti al contorno dell'area, è stato individuato un unico scenario di simulazione, comprendente le seguenti aree di lavoro:

- i due cantieri operativi CO.01 e CO.02, posti rispettivamente in corrispondenza del fronte ovest ed est di scavo della galleria naturale Monte Romano;
- le aree di stoccaggio AS.01 e AS.02, a sostegno rispettivamente dei cantieri operativi CO:01 e CO.02 per lo stoccaggio temporaneo del materiale di scavo della galleria naturale;
- cantiere di base CB.01, posto a sostegno dell'intera opera di progetto.

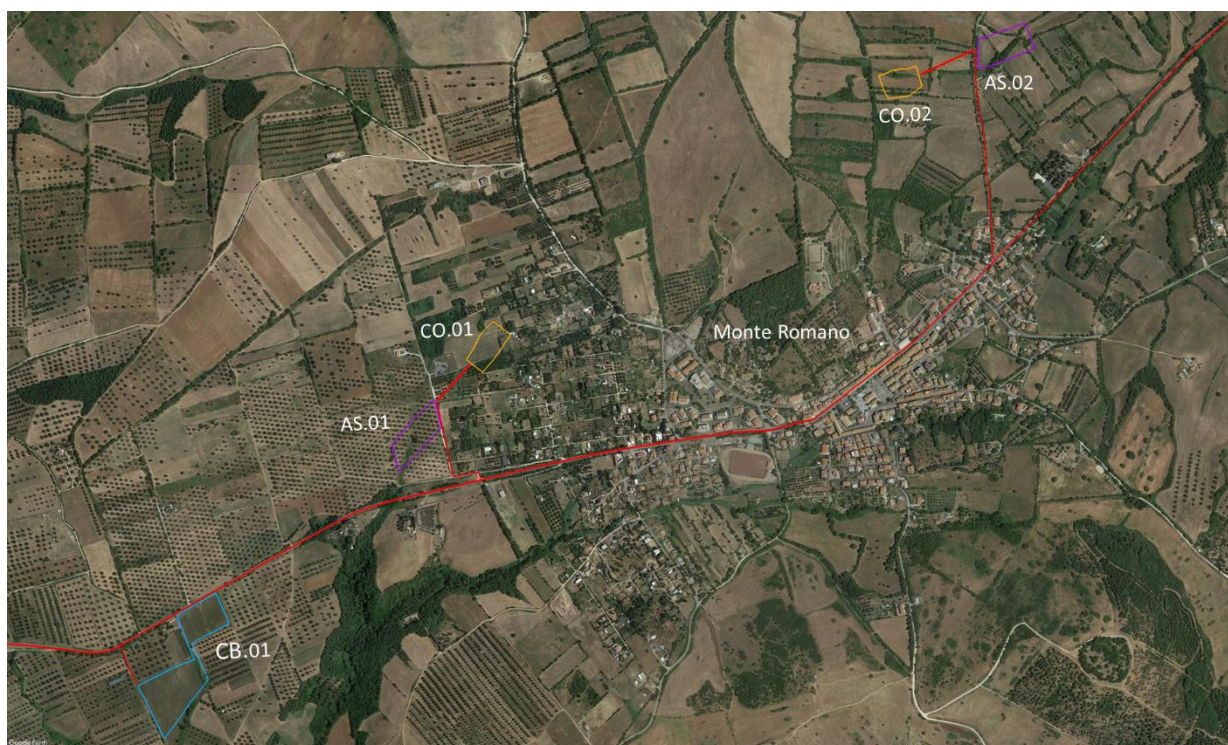


Figura 8-3 Rappresentazione delle aree di cantiere

Le attività sopra citate per lo scenario di riferimento sono considerate contemporanee tra loro in termini temporali e spaziali al fine di simulare la configurazione di cantiere peggiore.

Qui di seguito, si riportano le caratteristiche delle aree di cantiere scelte per la simulazione, riportando nello specifico per ciascuna di esse le lavorazioni previste.

Tabella 8-2 Caratteristiche aree di cantiere scelte per la simulazione

Cantiere	Superficie	Attività di cantiere
CB.01	43.250 m ²	Carico e scarico del materiale Erosione del vento dai cumuli
CO.01	9.700 m ²	Carico e scarico del materiale Erosione del vento dai cumuli
CO.02	10800 m ²	Carico e scarico del materiale Erosione del vento dai cumuli
AS.01	15.500 m ²	Formazione e stoccaggio cumuli Erosione del vento dai cumuli
AS.02	15.500 m ²	Formazione e stoccaggio cumuli Erosione del vento dai cumuli

Nella Tabella successiva vengono invece riportati, per ciascun cantiere, i mezzi previsti per le lavorazioni.

Tabella 8-3 Mezzi previsti per le lavorazioni

Area di cantiere	Macchina di cantiere	Quantità
CB.01	Autocarro	2
	Escavatore	2
	Pala gommata	1
	Gruppo elettrogeno	2
AS.01/AS.02	Autocarro	2
	Escavatore	1
	Pala gommata	2
	Gruppo elettrogeno	1
CO.01/CO.02	Autocarro	2
	Escavatore con martello demolitore	2
	Escavatore	1
	Gruppo elettrogeno	3
	Pala meccanica	2
	Impianto drenaggio acque	1
	Impianto aria compressa	1
	Betoniere	2
Autogrù	1	

Per quanto riguarda invece i traffici di cantiere derivanti dal trasporto dei materiali di scavo dalle aree di cantiere fino ai siti di deposito temporaneo, cave e discariche, è stato ipotizzato per l'intero scenario un flusso medio di 28/veicoli/giorno bidirezionali. Pertanto, in virtù del ridotto valore stimato, non è stato valutato il contributo del traffico indotto dalla cantierizzazione.

Una volta definite le sorgenti emmissive, è stata svolta, per ogni area di cantiere, l'analisi emissiva. In particolare, gli inquinanti analizzati sono stati i seguenti:

- particolato grossolano (PM₁₀);

- particolato fine (PM_{2.5}),
- ossidi di azoto (NO_x);
- biossido di azoto (NO₂).

Si specifica come per le polveri grossolane (PM₁₀ e PM_{2.5}) il contributo emissivo è stato calcolato come la somma del contributo derivante dalle lavorazioni di cantiere e dei macchinari impiegati; viceversa, per quanto riguarda ossidi e biossido di azoto, è stata considerata solamente l'emissione derivante dai gas di scarico delle macchine di cantiere, tralasciando il contributo legato alla movimentazione e stoccaggio del materiale poiché trascurabile.

8.2.1.5 La metodologia per il calcolo dei fattori di emissione

Il fattore di emissione rappresenta la parte unitaria delle emissioni che, moltiplicata per l'unità di tempo in cui la sorgente rimane in condizione "attiva", permette il calcolo delle emissioni di inquinanti totali "uscenti" dalla sorgente.

Per la stima di tali valori si è fatto riferimento alle "Linee Guida per la Valutazione delle Emissioni di Polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti", elaborate da ARPAT nel 2010, che propongono metodi di stima delle emissioni di polveri principalmente basati su dati e modelli dell'Agenzia di protezione ambientale degli Stati Uniti (US-EPA: AP-42 "Compilation of Air Pollutant Emission Factors").

All'interno del documento AP-42 sono riportati tutti i fattori di emissione riguardanti le principali sorgenti, dagli impianti industriali, agli impianti estrattivi, sino alle operazioni di costruzioni civili.

Nei paragrafi seguenti verranno stimati i singoli fattori di emissione relativi al PM₁₀ e al PM_{2.5} (principali inquinanti generati dalle attività di cantiere), in relazione alle attività di cantiere più critiche che caratterizzano gli scenari presi come riferimento per l'analisi modellistica, descritti al precedente paragrafo. Tali attività vengono di seguito elencate:

- formazione e stoccaggio di cumuli (AP-42 13.2.4);
- erosione del vento dai cumuli (AP-42 13.2.5);
- frantumazione delle rocce (AP-42 11.19.2).

8.2.1.6 I fattori di emissione relativi alla formazione e stoccaggio dei 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.

Tabella 8-4 Valori coefficiente aerodinamico (Fonte: EPA AP42)

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)			
30 μm	<15 μm	<10 μm	<2.5 μm
1,0	0,6	0,5	0,075

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.

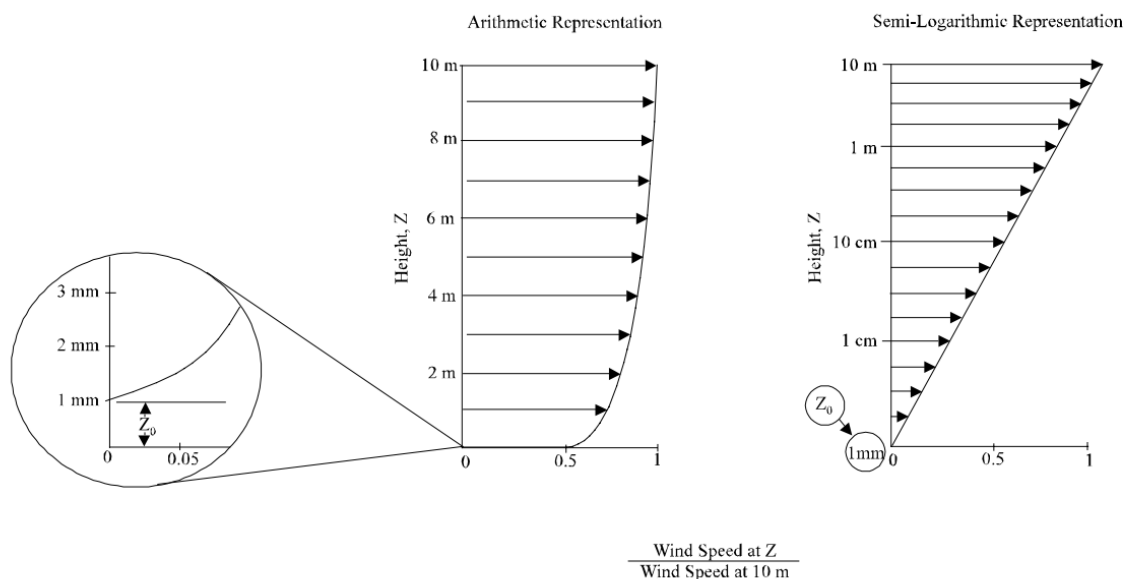


Figura 8-4 Illustrazione del profilo logaritmico della velocità (Fonte: EPA AP42)

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 in Tabella 8-5.

Tabella 8-5 Valore di velocità di attrito limite

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

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 8-5.

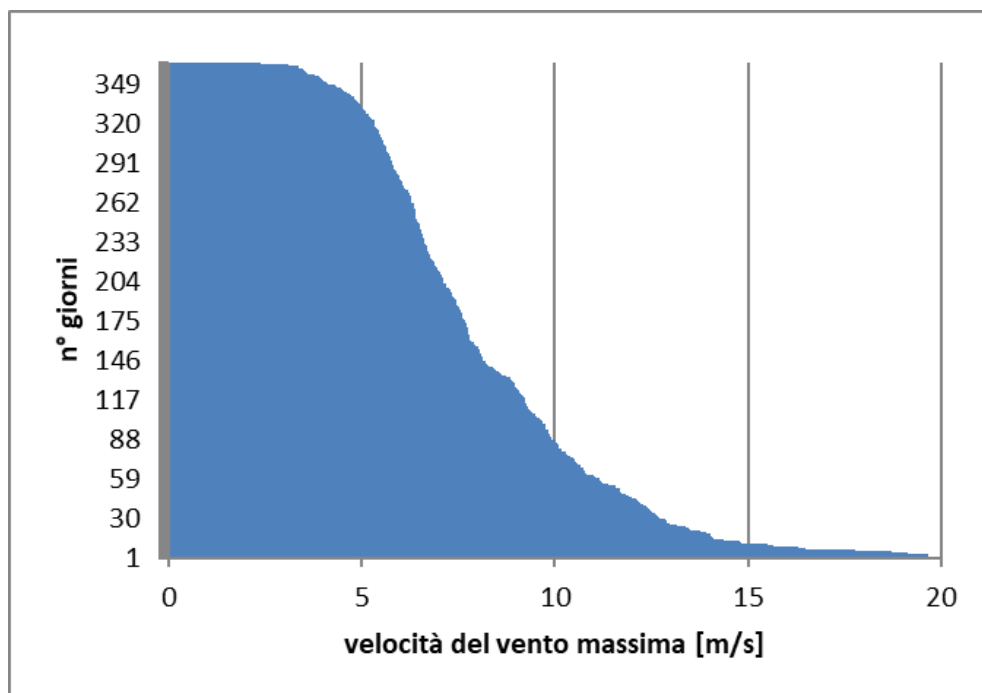


Figura 8-5 Velocità del vento max ordinata in senso crescente

Da tali valori è quindi stato possibile determinare i valori di u^* così come riportato in Figura 8-6.

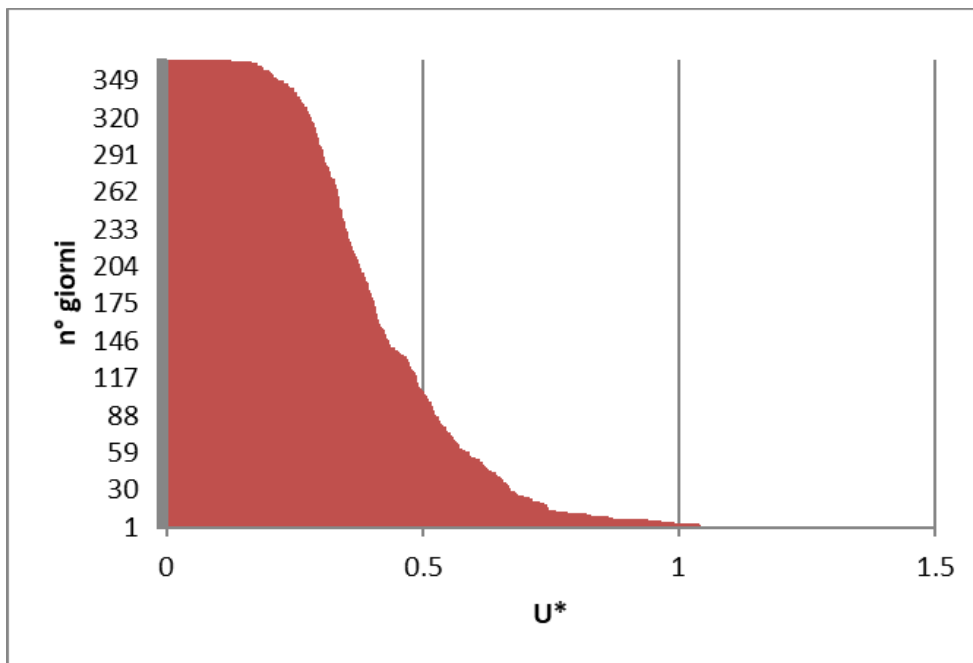


Figura 8-6 - Valori di u^* ordinati in senso crescente

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

8.2.1.7 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 , NO_2 , PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$. 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 PM_{10}).

Tabella 8-6 Fattori di emissione (fonte: South Coast Air Quality Management District - "Off road mobile Source emission Factor")

Macchina di cantiere	Emissione [g/s]	
	PM ₁₀	NO _x
Autocarro	0,0019	0,055
Autogrù	0,0029	0,076
Betoniera	0,0021	0,044
Escavatore	0,0021	0,042
Escavatore con martello demolitore	0,0021	0,042
Gruppo elettrogeno	0,0029	0,065
Impianto aria compressa	0,0023	0,044

8.2.1.8 Sintesi fattori di emissione per ogni sorgente

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

Tabella 8-7 Fattori di emissione areali PM10 e NOx

ID AREE	Fattore di emissione areale [g/s]			
	PM ₁₀			NO _x
	Attività cantiere	Mezzi cantiere	Totale	Mezzi cantiere
CB:01	0,0026	0,0167	0,0193	0,3802
CO.01	0,0026	0,0340	0,0046	0,7068
CO.02	0,0026	0,0340	0,0039	0,7068
AS.01	0,0026	0,0366	0,0092	0,3246
AS.02	0,0026	0,0366	0,0051	0,3246

8.2.1.9 La modellazione delle sorgenti in Aermod View

Una volta definite le metodologie per la stima dei fattori di emissione è stato possibile implementare all'interno del modello Aermod le diverse sorgenti.

In particolare, le aree di lavoro e le aree di cantiere sono state schematizzate come sorgenti areali e in linea generale i dati richiesti dal software sono quelli mostrati in Figura 8-7.

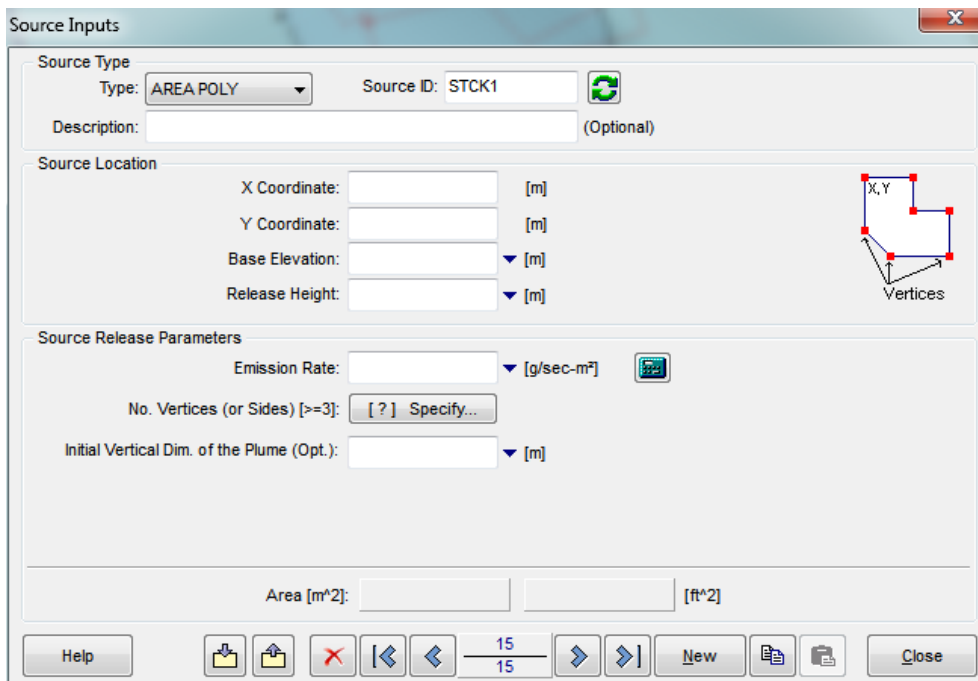


Figura 8-7 Tipologico input per sorgenti areali software AERMOD View

Nello specifico gli input inseriti sono:

- coordinate X, Y rispetto al baricentro della sorgente;
- altezza del terreno su cui è situata la sorgente;
- altezza della sorgente,
- fattore di emissione espresso in g/s m².

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 8-8.

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

Coordinate del centro della maglia Asse X	738256,14
Coordinate del centro della maglia Asse Y	4683703,93
Passo lungo l'asse X	80
Passo lungo l'asse Y	50
N° di punti lungo l'asse X	45

N° di punti lungo l'asse Y	50
N° di punti di calcolo totali	2250

Al fine di poter effettuare la sovrapposizione degli effetti tra i valori di esercizio, i valori di fondo ed il contributo del cantiere, si è fatto riferimento a cinque punti ricettore rappresentativo 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.

Tabella 8-9 Coordinate ricettori discreti scenario di riferimento

Recettore	Coordinata X (m)	Coordinata Y (m)
R1	737678,30	4683864.02
R3	737914.90	4683726.76
R4	738153.35	4683921.49
R5	739552.80	4684568.25
V1	737657.73	4683327.15

Nello specifico, il ricettore V1, situato all'interno della Zona di Protezione Speciale "Comprensorio Tolferano – Cerite – Manziate" è stato scelto per valutare la qualità dell'aria relativa alla salvaguardia della vegetazione, mentre i restanti ricettori sono stati scelti in corrispondenza di edifici residenziali per valutare la salvaguardia della salute umana.



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

8.2.2 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" (codice T00IA31AMBPL02A);
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni NO_x – Cantiere" (codice T00IA31AMBPL03A);
- "Planimetria dei ricettori e concentrazioni NO₂ – Cantiere" (codice T00IA31AMBPL04A).

8.2.2.1 L'analisi delle Concentrazioni di PM₁₀ sui ricettori

Tabella 8-10 Output dato medio annuo dell'inquinante PM₁₀- Fase di cantiere

Recettori	PM ₁₀ [µg/m ³]			Valore normativo
	Media annua	Fondo	Totale	
R1	0,03	16,90	16,93	40
R2	0,33		17,22	
R3	0,09		16,99	
R4	0,27		17,17	

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, essendo i valori di concentrazione media annua di PM_{10} , comprensivi del valore di fondo, inferiori a tale limite.

Tabella 8-11 Output dato massimi giornalieri dell'inquinante PM_{10} - Fase di cantiere

PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]				
Recettori	Massimo giornaliero	Fondo	Totale	Valore normativo
R1	0,72	16,90	17,62	50
R2	5,90		22,80	
R3	0,62		17,52	
R4	6,02		22,92	

8.2.2.2 L'analisi delle Concentrazioni di NO_2 sui ricettori

Tabella 8-12 Output dato medio annuo dell'inquinante NO_2 - Fase di cantiere

NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]				
Recettori	Media annua	Fondo	Totale	Valore normativo
R1	0,21	6,40	6,61	40
R2	2,47		8,87	
R3	0,68		7,08	
R4	2,09		8,49	

Tabella 8-13 Output dato massimi orari dell'inquinante NO_2 - Fase di cantiere

NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]				
Recettori	Massimo orario	Fondo	Totale	Valore normativo
R1	60,06	6,40	66,46	200
R2	176,02		182,42	
R3	57,55		63,95	
R4	146,20		152,60	

8.2.2.3 L'analisi delle concentrazioni di NO_x sui ricettori

Tabella 8-14 Output dato media annua dell'inquinante NO_x - Fase di cantiere

NO_x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]				
Recettori	Media annua	Fondo	Totale	Valore normativo
V1	0,66	7,90	8,56	30

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 sul ricettore V1 per la salvaguardia della vegetazione.

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 recettori, presi come riferimento per l'analisi, non si osserva alcuna situazione di criticità, in quanto tutti i valori si mantengono ampiamente al di sotto dei limiti normativi di riferimento.

Pertanto, è possibile concludere che il progetto in esame, nella sua fase di esercizio, non comporta criticità in termini di inquinamento atmosferico sui recettori 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

Dall'analisi delle concentrazioni delle polveri e degli ossidi e biossidi di azoto prodotti dalle attività di cantiere 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.

Sarà comunque previsto, con la finalità di minimizzare la diffusione degli inquinanti, l'impiego di Best Practice (cfr. par. 8.3) da adottare in fase di cantiere.