

Regione
**EMILIA
ROMAGNA**

Progetto per la
realizzazione di un
impianto fotovoltaico,
denominato "**Fossatone**",
con potenza nominale di
64.674,48 kW da realizzarsi
nei Comuni di **Massa
Lombarda, Lugo, Conselice**

Comune di
**Massa
Lombarda**

Comune di
Lugo

Provincia di
Ravenna

Comune di
Conselice

R-r34 REV 00

**STUDIO DI DISPERSIONE
DEGLI INQUINANTI
IN ATMOSFERA**

RELAZIONI SPECIALISTICHE

data Aprile 2026

RICHIEDENTE **STM26 srl**
Via Nenni 6E, Imola (BO)

COORDINAMENTO

STEMM
Sviluppo e Progettazione
www.stemm.solar

Via Nenni 6E, Imola (BO)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Progetto agronomico



**UNISG Università degli Studi di scienze
gastronomiche di Pollenzo (CN)**

Progetto elettrico

Rodolfo Ciani

ING. ELETTRICO Via Leonardo da Vinci, 7 - 47122 FORLÌ
Tel: 349 2669483 - Fax: 0543 404810

Progetto strutturale

Giovanni Cancian

ING. CIVILE Via Largo Trieste, 74/d - 30029 S. STINO DI LIVENZA
Tel: 338 4193110 studiocancian@virgilio.it

Verifica compatibilità idraulica

Marco Lasen

ING. CIVILE Via Delle Alte, 60 - 31044 MONTEBELLUNA
Tel: 3477288783 marco.lasen@gmail.com

Valutazione di Impatto ambientale



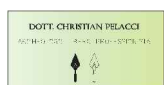
TERRA srl
Consulenza ambientale-Pianificazione-Ingegneria forestale
Galleria Progresso, 5 San Donà di Piave 30027 - VE
www.terrasrl.com info@terrasrl.com tel. 0421 332784

Valutazione paesaggistica



DOTT. AGR. ANNA LETIZIA MONTI
Agronomo del paesaggio
Viale Oriani 42/2 - 30020 BOLOGNA
studio@annaletiziamonti.it

Verifica preventiva interesse archeologico



DOTT. CHRISTIAN PELACCI
Archeologo

Coordinamento progettuale richiesta A.U.



DANIELE BECCARO
Architetto
Corso Milano, 94 - 35139 PADOVA
arch.danielebeccaro@gmail.com

PROFESSIONISTI

Ing. Valerio Veraldi



Proprietà riservata. È vietata la riproduzione totale e parziale e/o la comunicazione a terzi del presente elaborato e calcolo ad esso relativo che non siano espressamente autorizzate. In mancanza di rispetto gli interessati si riservano il diritto di procedere a termini di legge.

R-R34-Dispersione atm.pdf

INDICE

1	Analisi meteoroclimatica	7
1.1	Il dato storico	7
1.2	Il dato attuale.....	15
1.3	Confronto tra il dato storico e l'anno di riferimento	17
2	Analisi delle emissioni.....	21
2.1	Emissioni a livello regionale e provinciale	21
2.2	Emissioni di gas serra	24
2.2.1	Emissioni a livello nazionale.....	24
2.2.2	Emissioni a livello regionale	24
3	Analisi della qualità dell'aria	27
3.1	Analisi delle concentrazioni	27
3.1.1	Ossidi di azoto	27
3.1.2	Particolato.....	33
3.2	Quadro sinottico di qualità dell'aria.....	37
4	Analisi delle potenziali interferenze in fase di cantiere.....	38
4.1	Aspetti generali.....	38
4.2	Il modello di simulazione utilizzato	38
4.3	Gli input del software Aermoc View	41
4.3.1	Gli input territoriali	41
4.3.2	Gli input meteorologici	42
4.3.3	Gli input progettuali.....	43
4.3.4	I fattori di emissione.....	48
4.4	Output delle simulazioni	54
4.4.1	Scenario 1.....	54
4.4.2	Scenario 2.....	61
5	Conclusioni	72

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1 Localizzazione della stazione meteorologica di Bologna rispetto l'area di intervento	8
Figura 1-2 Temperatura media nell'arco temporale di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	9
Figura 1-3 Andamento della temperatura media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	9
Figura 1-4 Andamento della temperatura media minima nelle tre decadi di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	10
Figura 1-5 Andamento della temperatura media massima nelle tre decadi di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	10
Figura 1-6 Regime anemometrico, stagione inverno (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	11
Figura 1-7 Regime anemometrico, stagione primavera (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	11
Figura 1-8 Regime anemometrico, stagione estate (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	12
Figura 1-9 Regime Anemometrico, stagione autunnale (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	12
Figura 1-10 Regime anemometrico invernale nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	13
Figura 1-11 Regime anemometrico primaverile nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	13
Figura 1-12 Regime anemometrico estivo nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	14
Figura 1-13 Regime anemometrico autunnale nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	14
Figura 1-14 Temperatura oraria (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna).....	15
Figura 1-15 Intensità del vento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna).....	16
Figura 1-16 Frequenza per direzione di vento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	17
Figura 1-17 Confronto temperatura media mensile (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	18
Figura 1-18 Confronto temperatura massima media mensile (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	18
Figura 1-19 Confronto temperatura minima media mensile (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	19
Figura 1-20 Confronto dati anemometrici stagione invernale	19

Figura 1-21 Confronto dati anemometrici stagione primaverile (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	20
Figura 1-22 Confronto dati anemometrici stagione estiva (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	20
Figura 1-23 Confronto dati anemometrici stagione autunnale (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	20
Figura 2-1 Ripartizione percentuale delle emissioni di NO _x (Fonte: "Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna relativo all'anno 2021" ARPAE 2024)	22
Figura 2-2 Ripartizione percentuale delle emissioni di PM ₁₀ (Fonte: "Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna relativo all'anno 2021" ARPAE 2024)	22
Figura 2-3 Ripartizione percentuale delle emissioni di PM _{2,5} (Fonte: "Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna relativo all'anno 2021" ARPAE 2024)	23
Figura 2-4 Settori IPCC-Macrosettori Corinair (Fonte: Inventario delle emissioni GHG – Dati 2023" ARPAE)	25
Figura 2-5 Contributi alle emissioni GHG in Emilia-Romagna per settore IPCC (2023) (Fonte: Inventario delle emissioni GHG – Dati 2023" ARPAE)	25
Figura 2-6 Ripartizione percentuale delle emissioni GHG in Emilia-Romagna per settore IPCC (2023) (Fonte: Inventario delle emissioni GHG – Dati 2023" ARPAE).....	26
Figura 2-7 Emissioni per attività del settore Energy nel 2023 (Fonte: Inventario delle emissioni GHG – Dati 2023" ARPAE)	26
Figura 3-1 Localizzazione centralina ARPA di riferimento rispetto all'impianto di progetto.....	27
Figura 3-2 Concentrazione media annua NO ₂ (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)	29
Figura 3-3 Concentrazione media annua NO _x (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)	30
Figura 3-4 Nuvola di punti concentrazioni NO _x - NO ₂ orarie [µg/m ³] (Fonte: elaborazione dati Arpa)	32
Figura 3-5 Confronto curve di correlazione NO ₂ -NO _x [µg/m ³] (Fonte: elaborazione dati Arpa)	32
Figura 3-6 Combinazione delle curve di regressione considerate [µg/m ³] (Fonte: elaborazione dati Arpa)	33
Figura 3-7 Concentrazione media annua di PM _{2,5} (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)	36
Figura 3-8 Concentrazione media annua di PM ₁₀ (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)	37
Figura 4-1 Aermod View Esempio di modellazione grafica 3D delle curve di isoconcentrazione	39

Figura 4-2 Esempio di modulo di visualizzazione 3D integrato nel modello di calcolo	40
Figura 4-3 Esempio di applicazione del modulo AERMET	40
Figura 4-4 Definizione logica del modello adottato	41
Figura 4-5 Tipologie di configurazioni territoriali	41
Figura 4-6 Logica delle verifiche con il worst case scenario	44
Figura 4-7 Sorgente emissiva simulata per la realizzazione del cavidotto e recettori considerati (in blu il tratto di cavidotto) – Scenario 1	47
Figura 4-8 Sorgente emissiva simulata relativa alla realizzazione dell’impianto e recettori considerati – Scenario 2	48
Figura 4-9 Illustrazione del profilo logaritmico della velocità (Fonte: EPA AP42).....	50
Figura 4-10 Velocità del vento massima ordinata in senso crescente	52
Figura 4-11 Valori di u^* ordinati in senso crescente	52
Figura 4-12 Tipologico input per sorgenti areali software AERMOD View	54
Figura 4-13 Mappa di isoconcentrazione della media annua di PM10 – Scenario 1	55
Figura 4-14 Mappa di isoconcentrazione delle massime giornaliere di PM10 – Scenario 1	56
Figura 4-15 Mappa di isoconcentrazione della media annua di PM2,5 – Scenario 1	57
Figura 4-16 Mappa di isoconcentrazione della media annua di NOx– Scenario 1.....	59
Figura 4-17 Mappa di isoconcentrazione delle massime orarie di NOx – Scenario 1	60
Figura 4-18 Mappa di isoconcentrazione della media annua di NOx – Scenario 1.....	61
Figura 4-19 Mappa di isoconcentrazione della media annua di PM10 – Scenario 2	62
Figura 4-20 Mappa di isoconcentrazione delle massime giornaliere di PM10 – Scenario 2	64
Figura 4-21 Mappa di isoconcentrazione della media annua di PM2,5 – Scenario 2	66
Figura 4-22 Mappa di isoconcentrazione della media annua di NOx – Scenario 2.....	68
Figura 4-23 Mappa di isoconcentrazione delle massime orarie di NOx – Scenario 2	70
Figura 4-24 Mappa di isoconcentrazione della media annua di NOx – Scenario 2.....	71

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Regime Termico (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	8
Tabella 2 Temperature mensili (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)	16
Tabella 3 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Regione Emilia-Romagna (Fonte: Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna INEMAR Emilia-Romagna)	21
Tabella 4 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Regione Emilia-Romagna a livello provinciale (Fonte: Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna INEMAR Emilia-Romagna)	23
Tabella 5 Emissioni nazionali di CO ₂ equivalente nel settore energetico (Fonte: "Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2023 National Inventory Report 2025")	24
Tabella 6 Valori NO ₂ (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)	28
Tabella 7 Concentrazione media annua di NO _x (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)	29
Tabella 8 Concentrazione media annua di PM _{2,5} (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)	35
Tabella 9 Concentrazione media annua di PM ₁₀ (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)	36
Tabella 10 Valori di riferimento per il fondo della qualità dell'aria – 2025 (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)	37
Tabella 11 Esempio di alcune righe di un file scritto in formato "SCRAM"	42
Tabella 12 Aree di cantiere simulate	45
Tabella 13 Coordinate maglia dei punti di calcolo	46
Tabella 14 Coordinate recettori considerati – Scenario 1	46
Tabella 15 Coordinate recettori considerati – Scenario 2	47
Tabella 16 Valori coefficiente aerodinamico fonte: EPA AP42	49
Tabella 17 Range di validità dei coefficienti per il calcolo di EF fonte: EPA AP42	49
Tabella 18 Valori coefficiente aerodinamico (Fonte: EPA AP42)	50
Tabella 19 Valore di velocità di attrito limite	51
Tabella 20 Fattori di emissione relativi ai gas di scarico dei mezzi di cantiere considerati	53
Tabella 21 Fattori di emissione di PM ₁₀ , PM _{2,5} e NO _x delle aree simulate	53
Tabella 22 Concentrazione media annua di PM ₁₀ – Scenario 1	55
Tabella 23 Concentrazioni massime giornaliere di PM ₁₀ – Scenario 1	56
Tabella 24 Concentrazioni medie annue di PM _{2,5} – Scenario 1	57
Tabella 25 Concentrazioni medie annue di NO ₂ – Scenario 1	58

Tabella 26 Concentrazioni massime orarie di NO ₂ – Scenario 1	59
Tabella 27 Concentrazioni medie annue di NO _x – Scenario 1	60
Tabella 28 Concentrazione media annua di PM ₁₀ – Scenario 2	61
Tabella 29 Concentrazioni massime giornaliere di PM ₁₀ – Scenario 2	63
Tabella 30 Concentrazioni medie annue di PM _{2,5} – Scenario 2	65
Tabella 31 Concentrazioni medie annue di NO ₂ – Scenario 2	67
Tabella 32 Concentrazioni massime orarie di NO ₂ – Scenario 2	69
Tabella 33 Concentrazioni medie annue di NO _x – Scenario 2	70
Tabella 34 Quadro riassuntivo delle concentrazioni stimate sui ricettori per la tutela della salute umana – Scenario 1	73
Tabella 34 Quadro riassuntivo delle concentrazioni stimate sui ricettori per la tutela della salute umana – Scenario 2	73
Tabella 34 Quadro riassuntivo delle concentrazioni stimate sui ricettori per la tutela della vegetazione – Scenario 1	74
Tabella 34 Quadro riassuntivo delle concentrazioni stimate sui ricettori per la tutela della vegetazione – Scenario 2	74

1 ANALISI METEOCLIMATICA

Il presente paragrafo è volto all'analisi meteoclimatica dell'area di studio. Tale analisi è strutturata al fine di perseguire una finalità costituita da due fasi consequenziali: in primis occorre analizzare dal punto di vista "storico" il contesto di intervento, definendo in un arco temporale ampio le condizioni climatiche che hanno caratterizzato l'area interessata dall'iniziativa progettuale in esame, secondariamente occorre analizzare il dato meteorologico di riferimento per le simulazioni modellistiche dell'area di intervento al fine di verificarne la coerenza con il dato storico.

In questo modo sarà possibile validare il dato utilizzato e verificare che le simulazioni effettuate non facciano riferimento ad *outliers* meteorologici che potrebbero inficiare l'intero processo di analisi.

La presente trattazione pertanto sarà divisa in due parti principali: "i dati storici" che descrive l'analisi nell'arco temporale di riferimento 1995-2024 e l'analisi dei "dati di simulazione" corrispondenti all'anno 2025 (attuale).

1.1 Il dato storico

L'analisi meteorologica è stata effettuata sulla base dei dati forniti dalla stazione meteorologica più vicina all'area di intervento, ovvero quella di Bologna, distante mediamente 43 km dall'area di intervento (cfr. Figura 1-1), che può essere ritenuta significativa delle condizioni meteoclimatiche dell'area in esame, in quanto, come riporta il documento dell'APAT "*Dati e informazioni per la caratterizzazione della componente Atmosfera e prassi corrente di utilizzo dei modelli di qualità dell'aria nell'ambito della procedura di V.I.A.*", le osservazioni rilevate dalle stazioni meteo dell'Aeronautica Militare sono rappresentative di un'area di circa 70 km di raggio. I dati analizzati sono relativi al trentennio 1995 - 2024.

I principali parametri meteorologici utilizzati sono:

- temperatura: la temperatura dell'aria viene espressa in gradi centigradi (°C). Affinché la rilevazione sia rappresentativa, i termometri sono ubicati ad un'altezza variabile tra 1,25 e 2 metri dal suolo su terreno controllato (quale manto erboso), protetti da precipitazioni e radiazione incidente in apposita capannina (con apertura a nord), mantenendo libera la circolazione dell'aria;
- vento: le unità di misura adottate per il vento sono: per l'intensità, che corrisponde alla velocità dell'aria rispetto al suolo, il nodo (KT, corrisponde a 1,852 km/h) e per la direzione di provenienza, il grado sessagesimale (si assume come valore 0 la calma di vento e 360 il nord). Lo strumento di misura, chiamato anemometro, è posto lontano da ostacoli, ad un'altezza di 10 metri dal suolo.

La stazione meteo di riferimento, mostrata in Figura 1-1, è localizzata alle seguenti coordinate:

- Lat: 44,5308;
- Long: 11,2969.

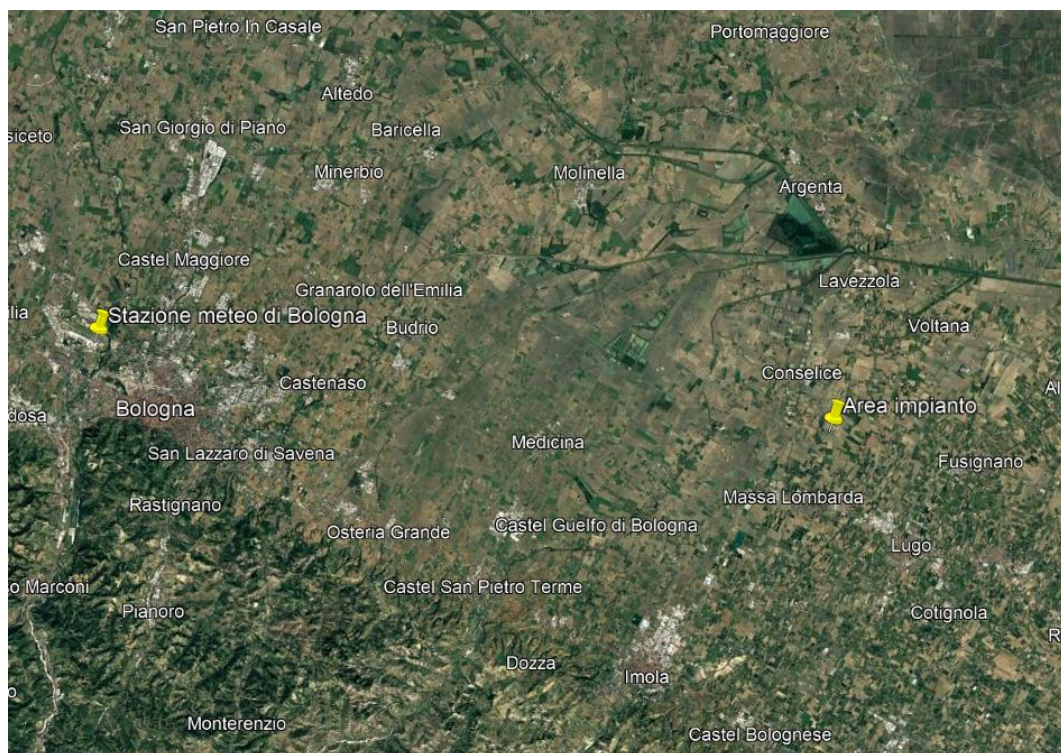


Figura 1-1 Localizzazione della stazione meteorologica di Bologna rispetto l'area di intervento

Regime termico

Il primo aspetto analizzato nella trattazione del dato storico riguarda il regime termico.

La Tabella 1 riporta i dati principali circa le temperature analizzate per il periodo storico di riferimento (1995 - 2024).

Mese	Tmin media (°C)	T media (°C)	Tmax media (°C)
Gennaio	0,22	3,39	7,12
Febbraio	1,48	5,65	10,28
Marzo	4,58	9,71	14,86
Aprile	8,46	13,78	18,91
Maggio	13,18	18,59	23,73
Giugno	17,56	23,28	28,66
Luglio	19,76	25,76	31,43
Agosto	19,42	25,19	30,96
Settembre	15,13	20,24	25,70
Ottobre	11,36	15,21	19,62
Novembre	6,02	9,18	12,71
Dicembre	1,23	4,22	7,61

Tabella 1 Regime Termico (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Con riferimento alla temperatura media registrata negli anni analizzati è possibile notare come le temperature medie siano comprese tra 3,39°C e 25,76°C, rispettivamente registrate nei mesi di gennaio e di luglio.

Nella seguente figura è mostrato graficamente l'andamento delle temperature nell'arco temporale di riferimento.

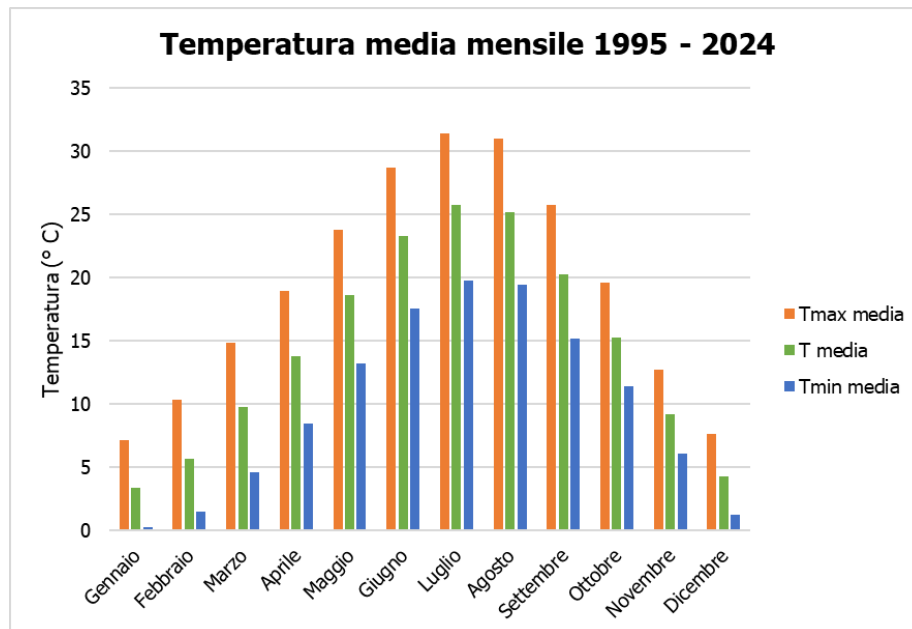


Figura 1-2 Temperatura media nell'arco temporale di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Nelle seguenti figure sono riportati gli andamenti delle temperature medie, minime e massime delle tre decadi.

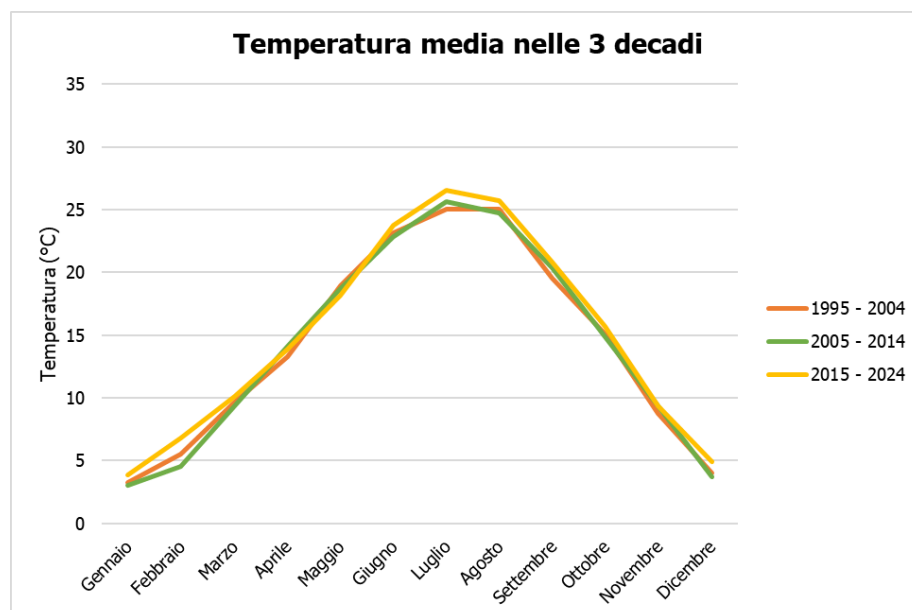


Figura 1-3 Andamento della temperatura media nelle tre decadi di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

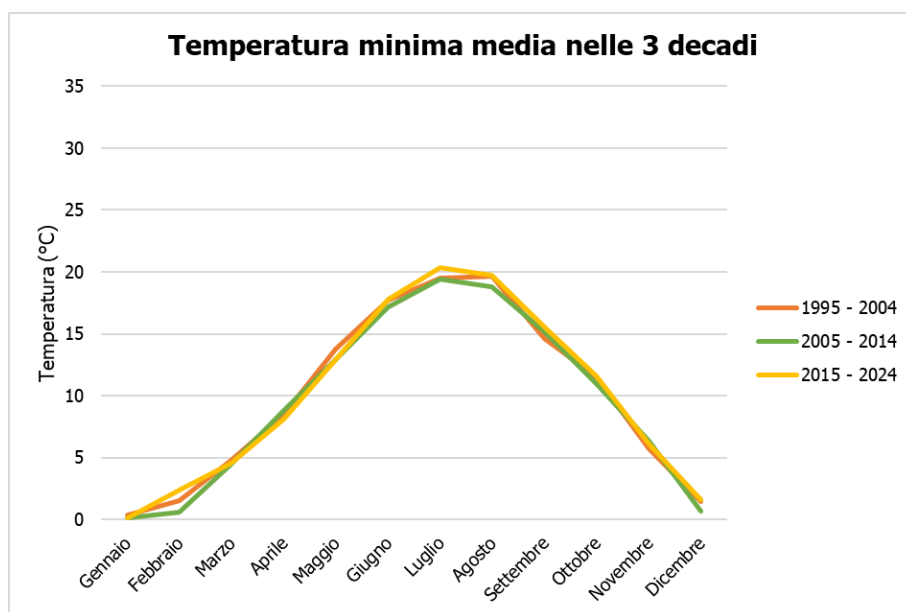


Figura 1-4 Andamento della temperatura media minima nelle tre decadi di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

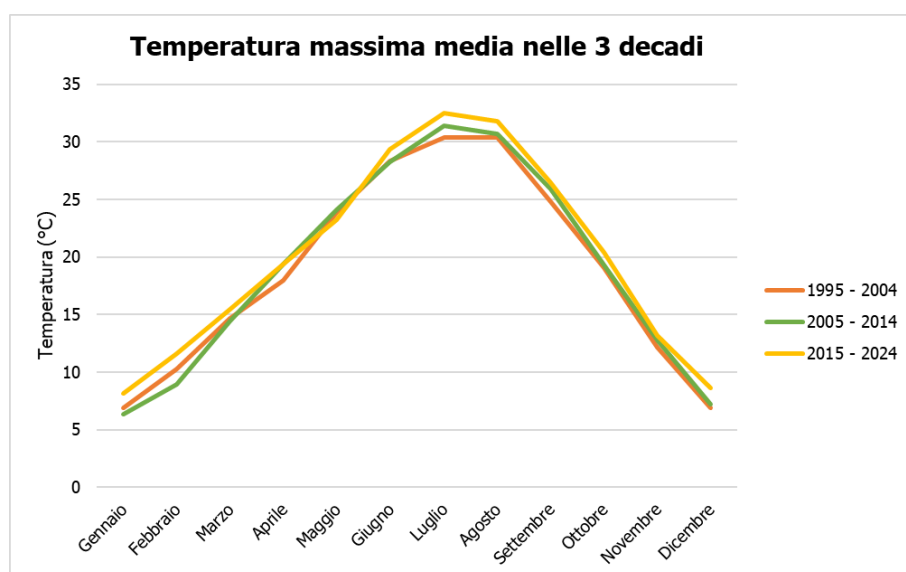


Figura 1-5 Andamento della temperatura media massima nelle tre decadi di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Dall'osservazione delle figure precedenti è possibile notare che gli andamenti della temperatura nelle tre decadi sono simili.

Regime anemometrico

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

- 0,5 – 3 m/s;
- 3 – 6 m/s;
- > 6 m/s.

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

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

Storico inverno h.00-05																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	1,5%	1,0%	1,1%	1,4%	2,6%	1,2%	0,9%	0,7%	2,6%	9,7%	10,9%	8,3%	10,9%	4,6%	2,3%	1,5%
3	6	1,7%	1,2%	1,7%	1,9%	3,8%	1,9%	1,1%	0,9%	5,4%	24,6%	13,7%	10,3%	19,6%	6,6%	2,6%	1,6%
6	-	1,7%	1,2%	1,8%	2,1%	4,0%	2,0%	1,2%	0,9%	5,5%	24,7%	13,7%	10,3%	20,1%	6,7%	2,6%	1,6%
Storico inverno h.06-11																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	3,2%	1,8%	2,1%	2,1%	2,4%	0,8%	0,4%	0,3%	1,6%	5,4%	5,9%	5,1%	11,0%	8,1%	4,9%	3,8%
3	6	3,8%	2,4%	3,0%	3,2%	5,1%	2,0%	0,8%	0,5%	3,1%	10,4%	7,1%	6,6%	22,0%	15,3%	6,6%	4,4%
6	-	3,8%	2,4%	3,3%	3,5%	5,7%	2,3%	0,8%	0,5%	3,3%	10,6%	7,2%	6,7%	22,8%	15,9%	6,7%	4,4%
Storico inverno h.12-17																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	5,7%	4,7%	5,5%	4,7%	6,7%	1,8%	0,7%	0,3%	0,6%	0,6%	1,1%	2,2%	5,7%	5,8%	6,1%	5,1%
3	6	6,5%	5,9%	7,6%	7,9%	14,9%	4,5%	1,3%	0,6%	1,9%	1,3%	1,7%	3,5%	12,5%	10,7%	8,0%	5,8%
6	-	6,6%	6,0%	7,8%	8,5%	16,0%	5,0%	1,4%	0,7%	2,3%	1,6%	1,9%	3,7%	13,1%	11,5%	8,2%	5,9%
Storico inverno h.18-23																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	1,6%	1,4%	1,8%	2,4%	6,3%	2,5%	1,3%	1,1%	3,5%	9,1%	9,3%	6,9%	8,1%	3,8%	2,3%	1,2%
3	6	1,7%	1,7%	2,5%	3,3%	10,5%	4,6%	1,9%	1,4%	6,1%	19,7%	11,5%	8,7%	14,7%	5,3%	2,6%	1,4%
6	-	1,7%	1,7%	2,6%	3,6%	10,9%	4,8%	2,0%	1,5%	6,3%	20,0%	11,6%	8,7%	15,2%	5,5%	2,6%	1,4%

Figura 1-6 Regime anemometrico, stagione inverno (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Storico primavera h.00-05																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	0,9%	0,7%	1,2%	1,3%	2,8%	1,5%	1,1%	1,1%	4,8%	12,0%	12,1%	6,7%	5,7%	2,3%	1,2%	0,9%
3	6	1,1%	0,9%	1,5%	2,0%	4,3%	2,4%	1,6%	2,0%	10,4%	33,2%	16,3%	8,2%	9,5%	3,2%	1,4%	1,0%
6	-	1,1%	0,9%	1,5%	2,1%	4,5%	2,5%	1,6%	2,0%	10,5%	33,5%	16,3%	8,2%	9,6%	3,2%	1,4%	1,0%
Storico primavera h.06-11																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	4,5%	2,5%	3,1%	3,0%	4,1%	1,2%	0,8%	0,7%	2,0%	3,6%	3,4%	2,8%	5,9%	6,0%	5,4%	4,2%
3	6	5,6%	3,5%	4,7%	6,2%	11,6%	3,7%	1,7%	1,6%	4,8%	6,6%	4,4%	3,8%	12,1%	12,5%	8,2%	5,1%
6	-	5,6%	3,5%	4,8%	6,4%	12,5%	4,4%	1,8%	1,6%	5,3%	7,0%	4,6%	3,9%	12,4%	12,8%	8,2%	5,1%
Storico primavera h.12-17																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	3,5%	3,3%	4,2%	4,0%	5,8%	1,8%	0,9%	0,6%	1,3%	0,7%	0,6%	0,9%	1,7%	1,8%	2,3%	2,4%
3	6	4,8%	5,4%	7,3%	9,9%	25,1%	7,6%	2,1%	1,4%	5,5%	4,1%	1,9%	2,0%	3,7%	3,6%	3,7%	3,0%
6	-	4,9%	5,5%	7,5%	10,1%	27,6%	9,0%	2,3%	1,6%	6,6%	5,3%	2,4%	2,5%	4,1%	3,8%	3,8%	3,1%
Storico primavera h.18-23																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	1,0%	0,9%	1,7%	2,2%	8,5%	3,9%	1,8%	1,5%	5,6%	7,2%	5,2%	3,1%	2,8%	1,4%	1,0%	0,6%
3	6	1,2%	1,1%	2,1%	3,2%	17,8%	9,9%	3,2%	2,5%	12,8%	22,5%	7,9%	4,2%	4,9%	2,0%	1,2%	0,7%
6	-	1,2%	1,1%	2,2%	3,4%	18,3%	10,3%	3,3%	2,5%	13,1%	23,5%	7,9%	4,2%	4,9%	2,0%	1,2%	0,7%

Figura 1-7 Regime anemometrico, stagione primavera (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Storico estate h.00-05																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	0,8%	0,8%	0,9%	0,9%	2,0%	1,1%	0,8%	0,9%	5,1%	14,5%	15,2%	7,4%	5,2%	2,0%	1,1%	0,7%
3	6	0,9%	1,0%	1,0%	1,3%	2,8%	1,5%	1,1%	1,2%	9,9%	37,0%	19,7%	8,9%	8,2%	2,8%	1,2%	0,8%
6	-	0,9%	1,0%	1,1%	1,3%	2,8%	1,5%	1,1%	1,2%	10,0%	37,2%	19,7%	8,9%	8,4%	2,8%	1,2%	0,8%
Storico estate h.06-11																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	4,7%	2,6%	2,8%	2,7%	3,7%	1,2%	0,5%	0,6%	2,1%	4,7%	4,7%	3,7%	7,8%	6,8%	5,7%	4,5%
3	6	5,8%	3,5%	4,1%	4,9%	8,5%	3,1%	1,1%	0,9%	4,2%	7,6%	5,7%	4,8%	14,9%	13,9%	8,6%	5,6%
6	-	5,8%	3,5%	4,2%	5,1%	8,8%	3,4%	1,2%	1,0%	4,5%	7,9%	5,8%	5,0%	15,3%	14,3%	8,6%	5,6%
Storico estate h.12-17																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	4,7%	4,1%	5,4%	5,5%	5,8%	2,0%	0,8%	0,5%	1,0%	0,6%	0,7%	0,7%	1,6%	1,9%	2,4%	3,0%
3	6	6,4%	6,3%	9,9%	13,0%	21,7%	7,4%	1,8%	1,2%	3,9%	2,8%	1,7%	1,5%	3,3%	4,0%	4,2%	4,1%
6	-	6,4%	6,3%	10,0%	13,4%	23,2%	8,3%	2,0%	1,2%	4,6%	4,0%	2,4%	2,0%	3,7%	4,2%	4,3%	4,1%
Storico estate h.18-23																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	1,0%	0,9%	1,8%	2,4%	8,9%	4,1%	1,9%	1,6%	6,1%	8,5%	6,4%	2,9%	2,2%	1,2%	1,0%	0,7%
3	6	1,2%	1,1%	2,2%	3,4%	17,8%	12,5%	3,4%	2,2%	11,8%	22,0%	9,0%	3,7%	3,8%	1,8%	1,2%	0,8%
6	-	1,2%	1,1%	2,2%	3,5%	18,1%	13,0%	3,5%	2,2%	12,0%	22,4%	9,1%	3,8%	3,9%	1,9%	1,2%	0,9%

Figura 1-8 Regime anemometrico, stagione estate (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Storico autunno h.00-05																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	1,1%	0,8%	1,0%	1,3%	2,4%	1,1%	0,7%	0,6%	2,8%	11,2%	12,2%	9,7%	12,2%	5,3%	2,3%	1,2%
3	6	1,2%	1,0%	1,3%	1,7%	3,8%	2,1%	1,1%	1,0%	5,2%	22,7%	14,5%	11,8%	20,2%	7,2%	2,4%	1,3%
6	-	1,2%	1,0%	1,4%	1,8%	3,9%	2,2%	1,2%	1,1%	5,4%	22,8%	14,5%	11,8%	20,6%	7,3%	2,4%	1,3%
Storico autunno h.06-11																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	2,9%	1,6%	1,6%	1,7%	2,7%	0,8%	0,4%	0,3%	1,8%	6,4%	6,4%	5,9%	13,2%	9,3%	5,6%	3,6%
3	6	3,1%	1,9%	2,2%	2,3%	5,0%	1,9%	0,8%	0,7%	3,5%	9,8%	7,4%	7,5%	24,7%	15,7%	6,9%	3,9%
6	-	3,1%	1,9%	2,3%	2,5%	5,2%	2,1%	0,9%	0,8%	3,7%	10,1%	7,5%	7,6%	25,5%	16,0%	7,0%	3,9%
Storico autunno h.12-17																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	5,9%	4,7%	5,6%	5,4%	7,3%	1,9%	0,7%	0,5%	1,1%	1,4%	2,0%	3,0%	8,1%	8,3%	6,9%	5,5%
3	6	6,5%	5,4%	6,8%	7,0%	11,7%	3,9%	1,4%	0,9%	2,2%	2,1%	2,5%	4,3%	15,7%	12,5%	8,2%	5,9%
6	-	6,5%	5,4%	6,9%	7,2%	12,1%	4,3%	1,5%	1,0%	2,4%	2,3%	2,7%	4,4%	16,4%	12,8%	8,2%	5,9%
Storico autunno h.18-23																	
Velocità venti (m/s)		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,5	3	1,4%	1,3%	1,8%	2,3%	4,9%	2,0%	1,1%	0,8%	3,6%	11,3%	11,6%	7,9%	10,1%	4,8%	2,4%	1,2%
3	6	1,6%	1,6%	2,4%	3,0%	6,9%	3,3%	1,8%	1,2%	6,1%	20,4%	13,5%	9,7%	16,8%	6,5%	2,7%	1,3%
6	-	1,6%	1,6%	2,4%	3,0%	7,1%	3,4%	1,9%	1,3%	6,3%	20,4%	13,5%	9,7%	17,1%	6,6%	2,7%	1,3%

Figura 1-9 Regime Anemometrico, stagione autunnale (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

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

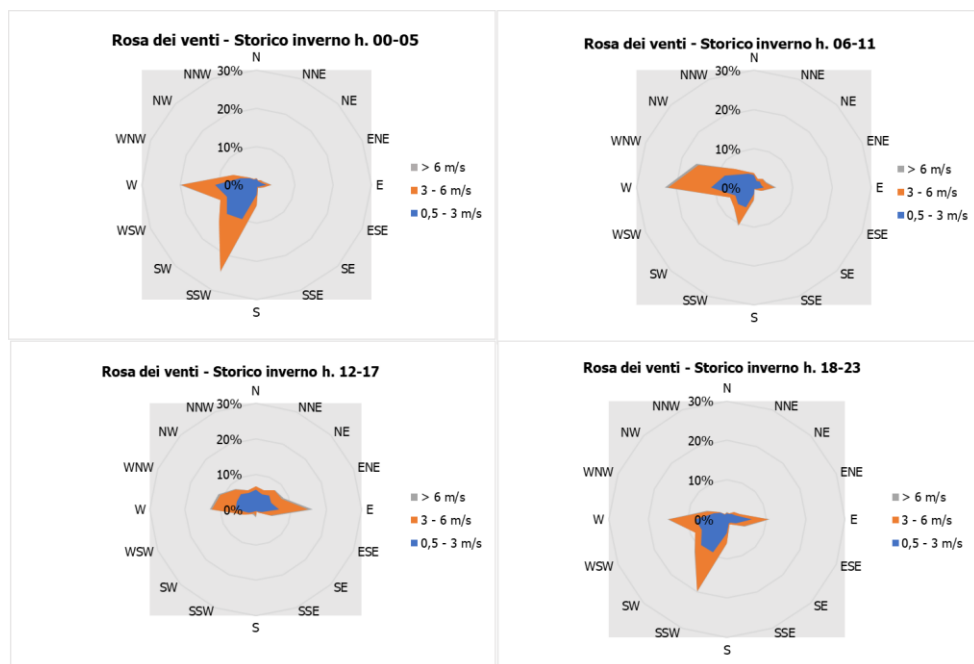


Figura 1-10 Regime anemometrico invernale nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

L'analisi dei diagrammi mostra per la stagione invernale una prevalenza di venti che spirano da direzione SSW negli intervalli temporali 0-5 e 18-23, e da W e E negli altri intervalli temporali. Le velocità sono concentrate quasi interamente nelle ultime due classi, connotando di fatto una forte stabilità in termini anemometrici.

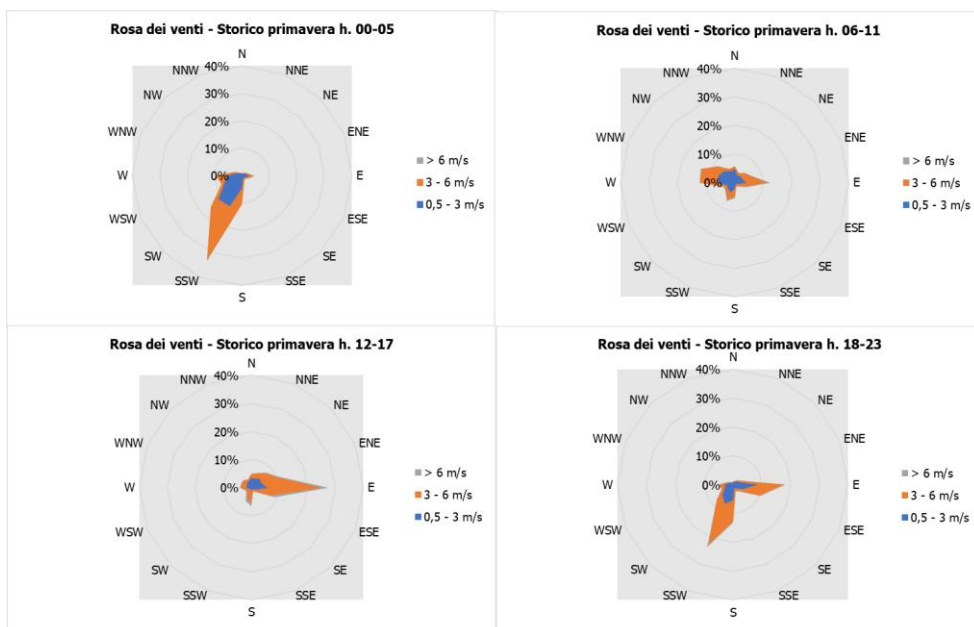


Figura 1-11 Regime anemometrico primaverile nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Anche per la stagione primaverile si osserva la stessa tendenza dei venti a spirare con maggiore frequenza SSW negli intervalli temporali 0-5 e 18-23, e da W e E negli altri intervalli temporali. La distribuzione di velocità dei venti è simile a quella vista per il periodo invernale.

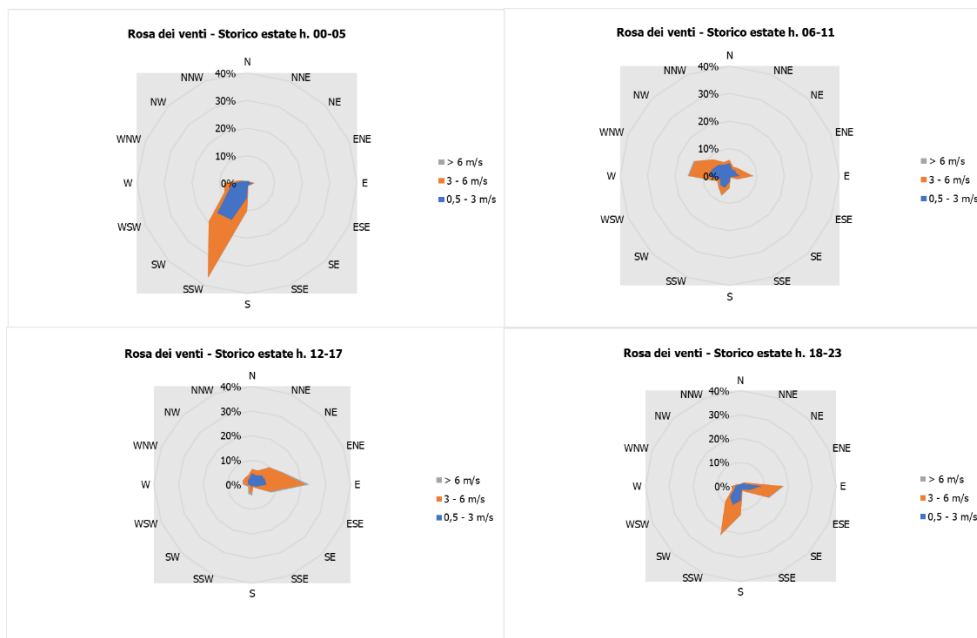


Figura 1-12 Regime anemometrico estivo nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

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

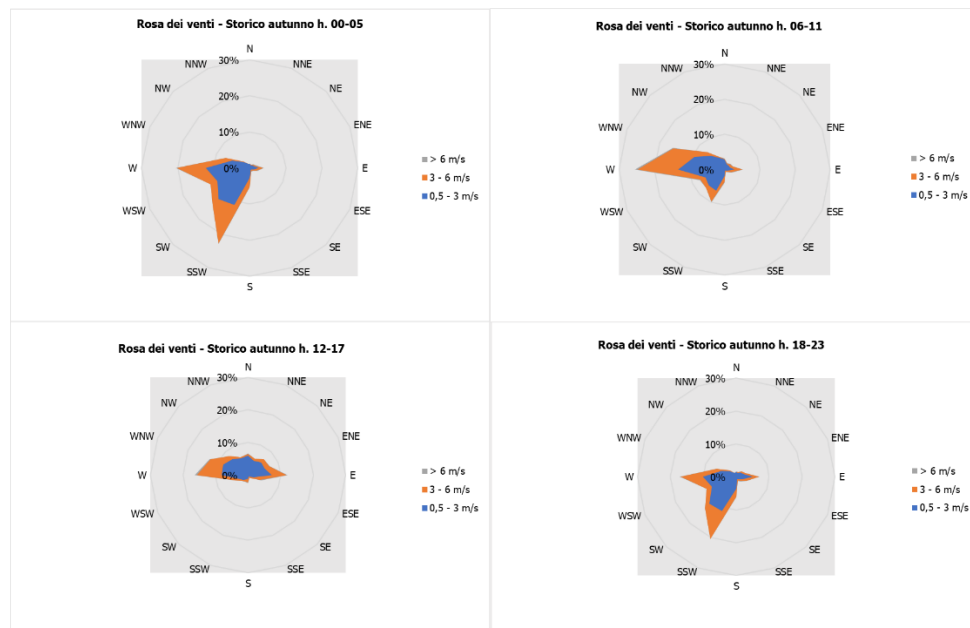


Figura 1-13 Regime anemometrico autunnale nei 4 intervalli orari di riferimento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

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

1.2 Il dato attuale

Descrizione: formato e disponibilità dati

I dati meteorologici vengono costantemente rilevati dagli osservatori e dalle stazioni per poi essere aggregati per l'utilizzo, la trasmissione e l'archiviazione, al fine di potere definire e valutare lo stato meteoroclimatico dell'area di interesse.

In particolare, i dati meteorologici relativi al dato attuale sono stati ricavati a partire dalle misurazioni registrate dalla stazione di Bologna utilizzata per effettuare l'analisi storica dei principali parametri meteoroclimatici caratterizzanti il territorio. Nello specifico, la stazione di monitoraggio scelta ha registrato, per l'anno 2025, misurazioni con una frequenza di 30 minuti, per un totale di 2 misurazioni l'ora.

Regime termico

Per quanto riguarda le temperature nell'anno di riferimento, come visibile dalla Figura 1-14, si registrano temperature maggiori nei mesi estivi, con un massimo assoluto di 37 °C nei mesi di giugno e agosto. Nel mese di gennaio le temperature arrivano a toccare i -4°C.

In generale, la media annua è pari a circa 15°C.

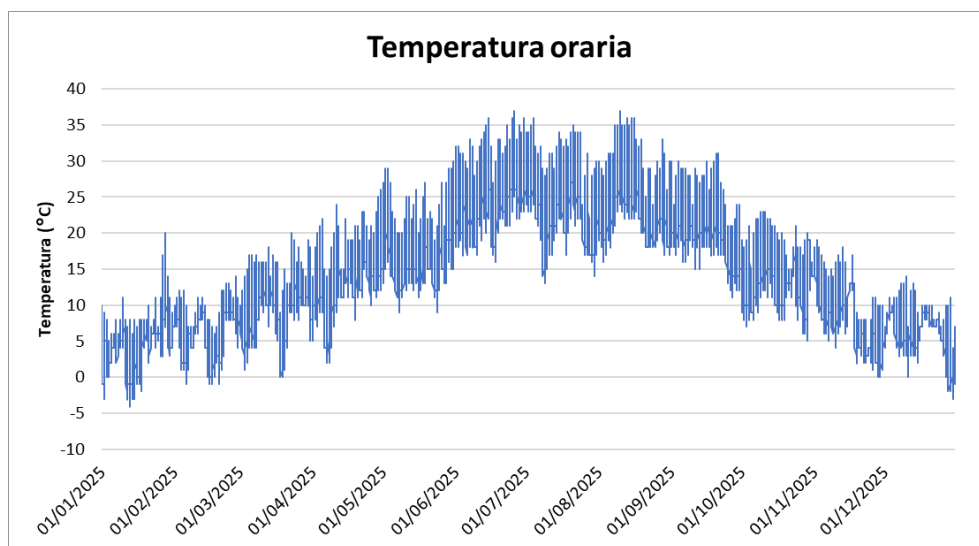


Figura 1-14 Temperatura oraria (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Nella seguente tabella sono invece riportati i valori di temperatura medi mensili.

Come si può osservare, le temperature minime medie registrate, nel mese di gennaio sono pari a circa 2°C. la temperatura massima media è invece stata registrata a giugno, pari circa 32°C.

Anno 2025			
Mese	T min media (°C)	T media (°C)	T max media (°C)
Gen	1,87	5,31	8,81
Feb	3,93	6,74	9,93
Mar	6,48	10,73	15,29
Apr	9,85	14,78	19,55
Mag	13,23	18,63	23,85
Giu	20,22	26,53	32,27
Lug	19,56	25,43	31,03
Ago	19,95	25,25	30,98
Sett	16,53	21,35	26,65
Ott	9,92	14,24	19,23
Nov	5,48	8,77	12,77
Dic	4,21	6,62	9,69

Tabella 2 Temperature mensili (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Regime anemometrico

L'intensità del vento registrata si mantiene pressoché costante durante l'anno (cfr. Figura 1-15), l'intensità del vento raggiunge diversi picchi, presentando però un valore massimo a novembre, pari a circa 15 m/s.

La velocità media annua dei venti è pari a circa 2,4 m/s.

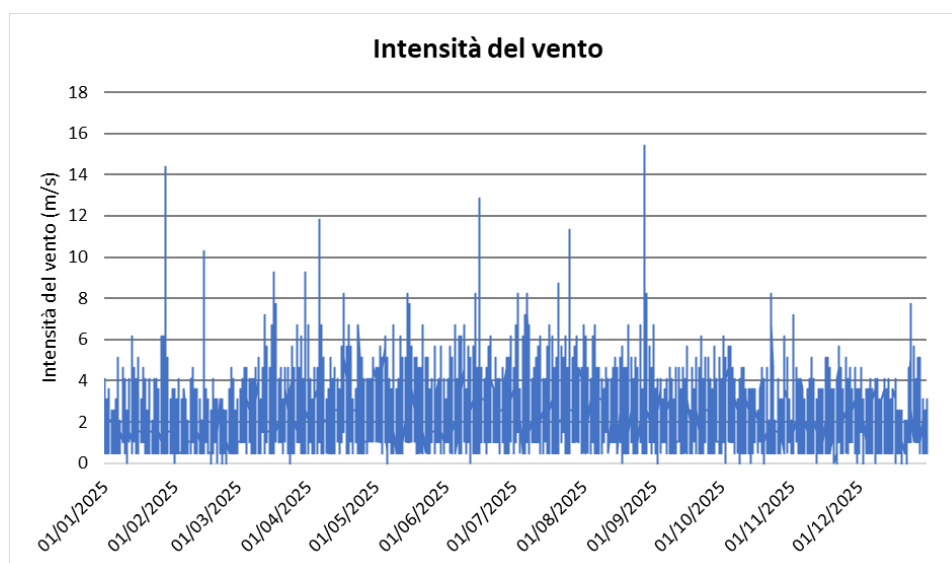


Figura 1-15 Intensità del vento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

In relazione alla frequenza percentuale per direzione del vento, Figura 1-16, si nota come le direzioni prevalenti siano SSW, che si verifica in circa il 16% delle ore dell'anno, e W e E, che invece si verificano rispettivamente in circa il 13% e il 12% delle ore dell'anno.

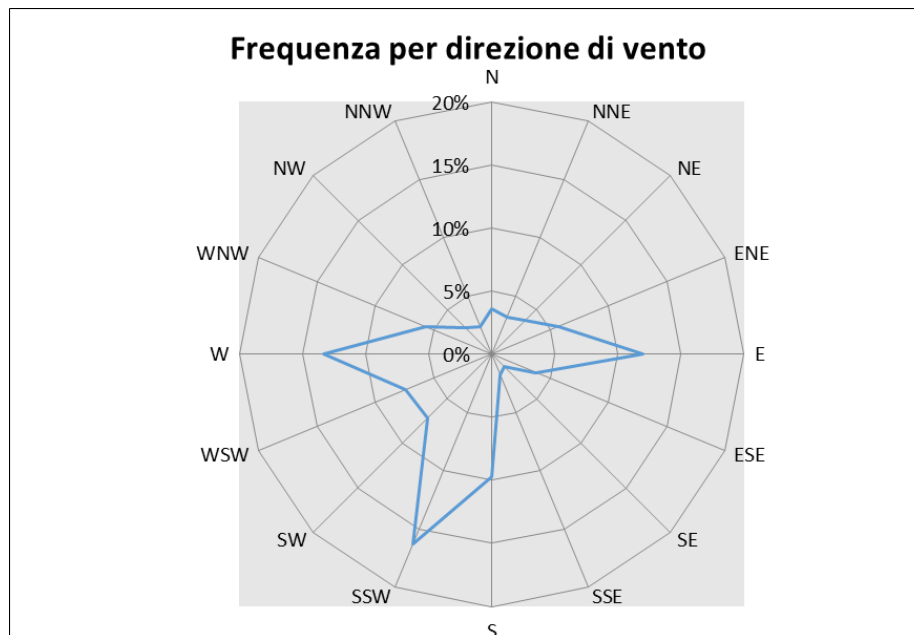


Figura 1-16 Frequenza per direzione di vento (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

1.3 Confronto tra il dato storico e l'anno di riferimento

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 (2025) utilizzato per le simulazioni modellistiche rispetto alle condizioni meteorologiche che generalmente si verificano nell'area di interesse.

Con tale verifica sarà quindi evidenziato come il dato meteorologico del 2025 sia conforme al dato storico, non rappresentando così un "outlier" rispetto alla media storica meteorologica analizzata nell'area in esame. Il confronto è stato condotto in relazione ai parametri principali influenzanti le simulazioni modellistiche citate, ossia 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 1-17).

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 nell'anno, attribuibile al riscaldamento globale che negli ultimi anni sta interessando sempre di più la Terra.

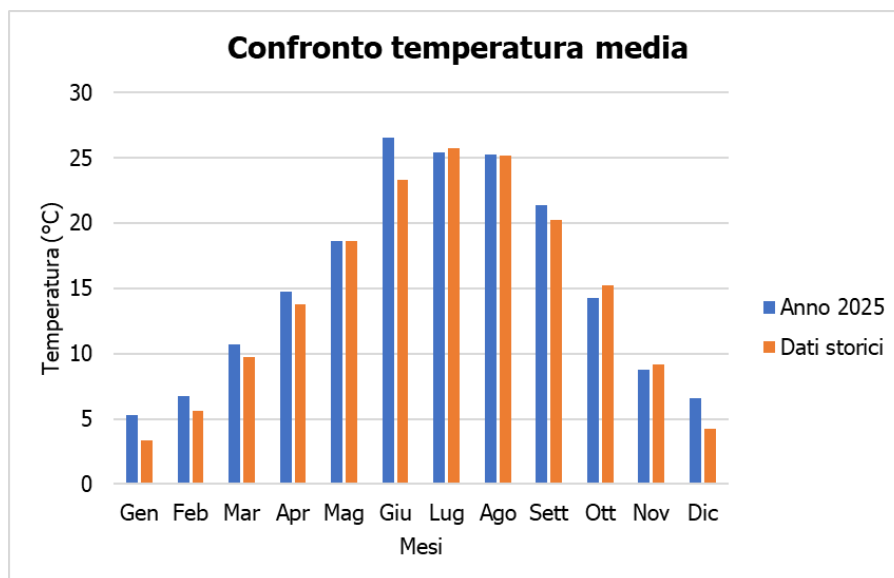


Figura 1-17 Confronto temperatura media mensile (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Anche nel confronto della temperatura massima media e minima media (cfr. Figura 1-18 e Figura 1-19) tra le tre decadi precedentemente studiate e l'anno di riferimento, il trend rimane analogo.

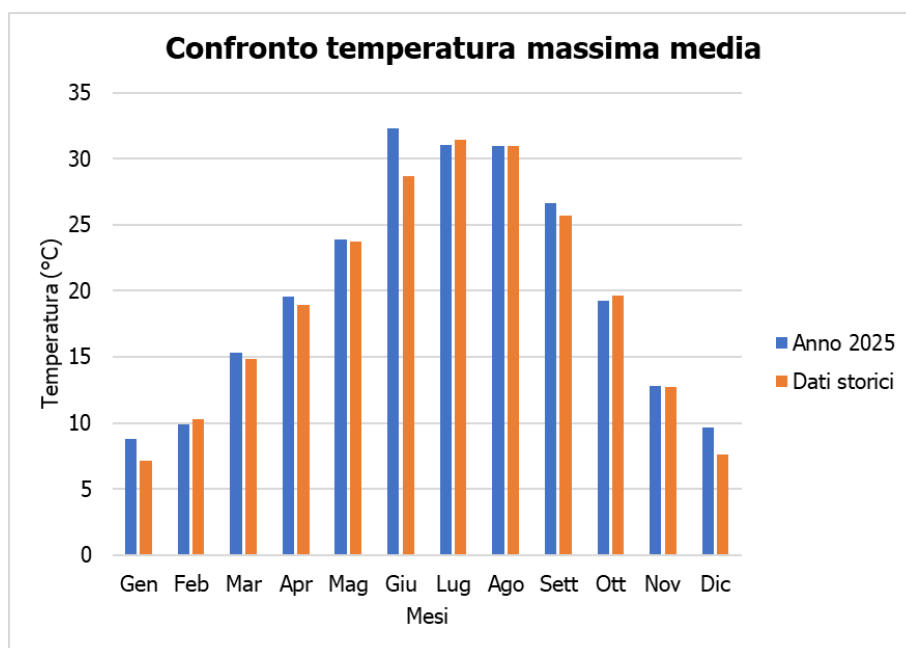


Figura 1-18 Confronto temperatura massima media mensile (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

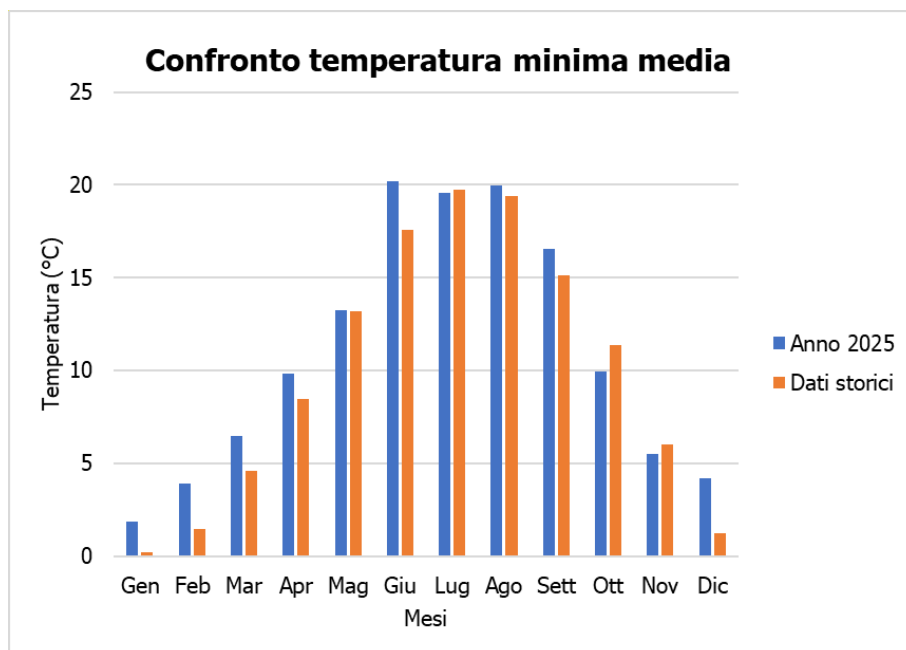


Figura 1-19 Confronto temperatura minima media mensile (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Regime anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi al vento è possibile identificarne sia la direzione sia l'entità espressa in nodi. Tale analisi, precedentemente effettuata per i dati storici, 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:

- 0,5 – 3 m/s;
- 3 – 6 m/s;
- > 6 m/s.

Dalle figure seguenti si può effettuare il confronto tra i dati anemometrici dell'arco temporale di riferimento considerato per l'analisi storica (1995 – 2024) con i dati relativi all'anno di riferimento (2025), suddivisi per stagioni. In coerenza a quanto visto per il dato storico, la prima stagione analizzata è la stagione invernale.

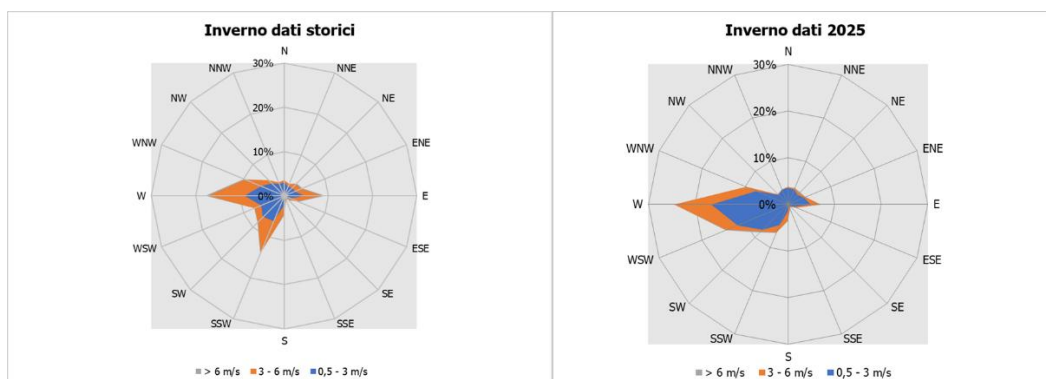


Figura 1-20 Confronto dati anemometrici stagione invernale

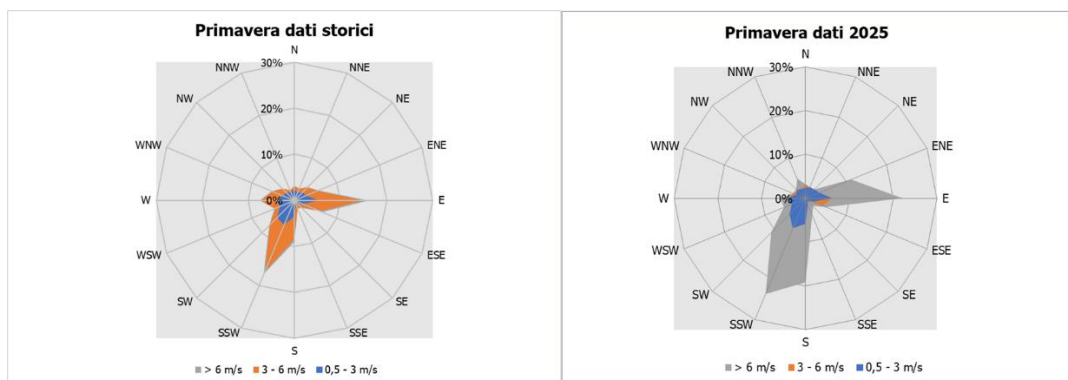


Figura 1-21 Confronto dati anemometrici stagione primaverile (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

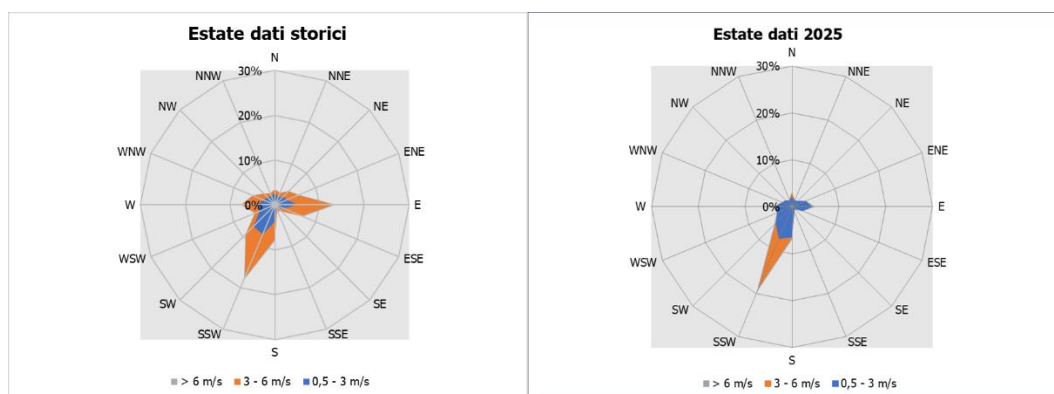


Figura 1-22 Confronto dati anemometrici stagione estiva (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

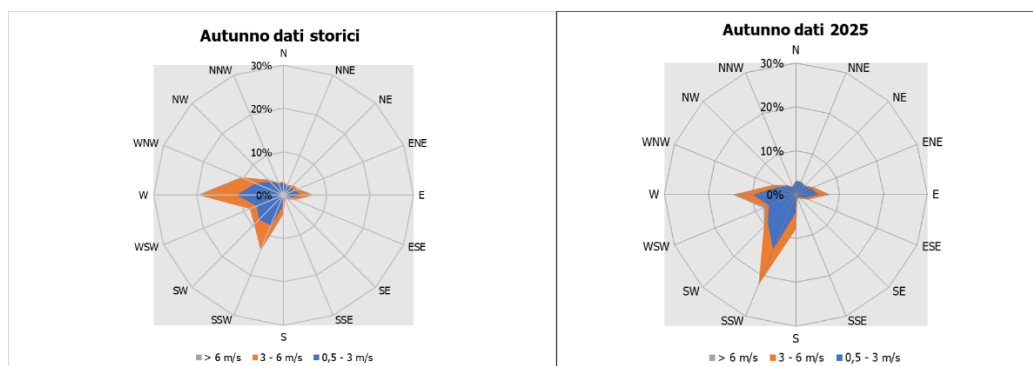


Figura 1-23 Confronto dati anemometrici stagione autunnale (Fonte: Elaborazione dati stazione di Bologna)

Dal confronto risulta come la direzioni principali dei venti siano rimaste invariate nell'anno preso in esame. Infatti, la direzione prevalente nella rosa dei venti del 2025 risulta essere la medesima del dato storico.

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 2025 con i dati provenienti dalle serie storiche fornite dalla stazione meteo analizzata.

Pertanto, può essere considerato attendibile l'intervallo di analisi per l'anno 2025, che verrà nel prosieguo della trattazione adottato per le simulazioni modellistiche.

2 ANALISI DELLE EMISSIONI

2.1 Emissioni a livello regionale e provinciale

Con riferimento all'“Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna” relativo al 2021 (ultimo disponibile), pubblicato a ottobre 2024 da Arpa Emilia-Romagna, è stato possibile effettuare l'analisi emissiva del territorio circostante l'area in esame a livello regionale e provinciale.

Nella seguente tabella si riportano i valori di emissione regionali suddivisi per macrosettore.

Regione Emilia - Romagna								
Macrosettore	NOx (t)	PTS (t)	PM10 (t)	PM2,5 (t)	SO ₂ (t)	CO (t)	NH ₃ (t)	COVnm (t)
Produzione di energia e trasformazione di combustibili	3.956	88	85	83	226	2.782	14	274
Combustione non industriale	6.140	5.991	5.706	5.564	215	43.254	665	4.912
Combustione industriale	8.934	655	415	323	6.534	5.744	19	461
Processi produttivi	559	956	482	289	2.068	1.196	156	2.066
Estrazione e distribuzione combustibili	-	-	-	-	-	-	-	3.782
Uso di solventi	51	401	278	240	1	19	2	24.413
Trasporto su strada	26.721	2.633	1.932	1.357	56	37.548	447	9.988
Altre sorgenti mobili e macchinari	10.156	630	621	612	99	3.265	2	1.031
Trattamento e smaltimento rifiuti	788	305	292	272	43	3.754	173	129
Agricoltura	683	879	484	255	15	804	41.106	36.449
Altre sorgenti	-	-	-	-	-	-	-	34.949
Totale	57.988	12.538	10.295	8.995	9.257	98.366	42.584	118.454

Tabella 3 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Regione Emilia-Romagna (Fonte: Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna INEMAR Emilia-Romagna)

Per quanto riguarda gli inquinanti di interesse per la presente analisi (polveri e NOx), dalle emissioni a livello regionale (cfr. Tabella 3) si evince che:

- per le emissioni degli ossidi di azoto (NO_x), queste sono principalmente dovute al macrosettore "Trasporto su strada" (46%) e al macrosettore "Altre sorgenti mobili e macchinari" (18%) (cfr. Figura 2-1);
- per il PM₁₀ e il PM_{2,5}, la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore "Combustione non industriale" (rispettivamente pari al 55% e al 62%), seguito dal macrosettore "Trasporto su strada" (rispettivamente pari al 19% e al 15%) (cfr. Figura 2-2 e Figura 2-3).

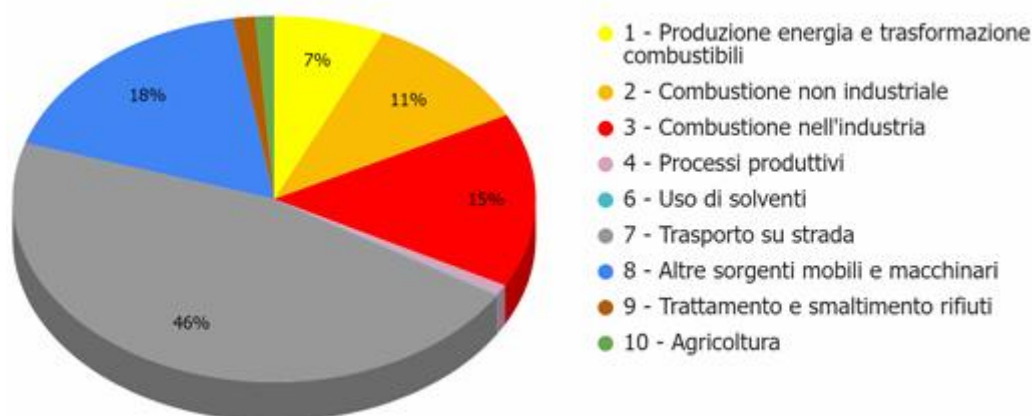


Figura 2-1 Ripartizione percentuale delle emissioni di NO_x (Fonte: "Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna relativo all'anno 2021" ARPAE 2024)

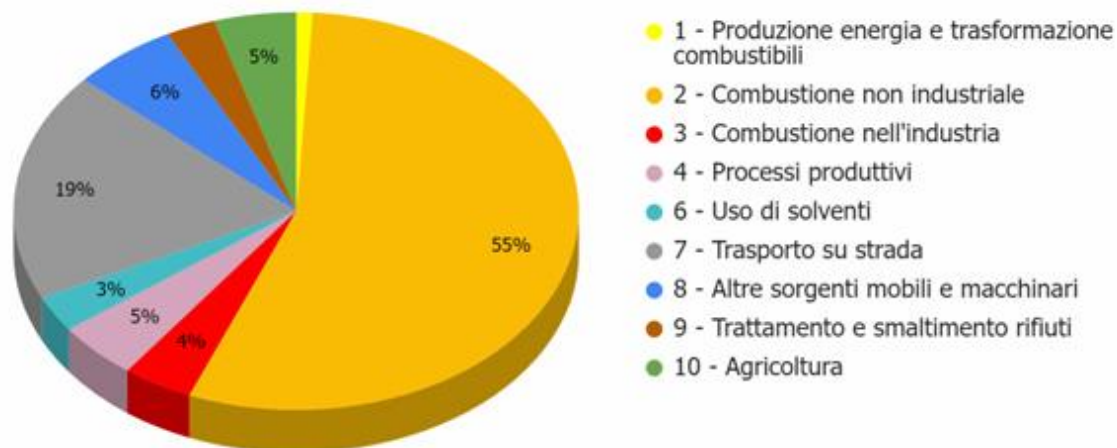


Figura 2-2 Ripartizione percentuale delle emissioni di PM₁₀ (Fonte: "Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna relativo all'anno 2021" ARPAE 2024)

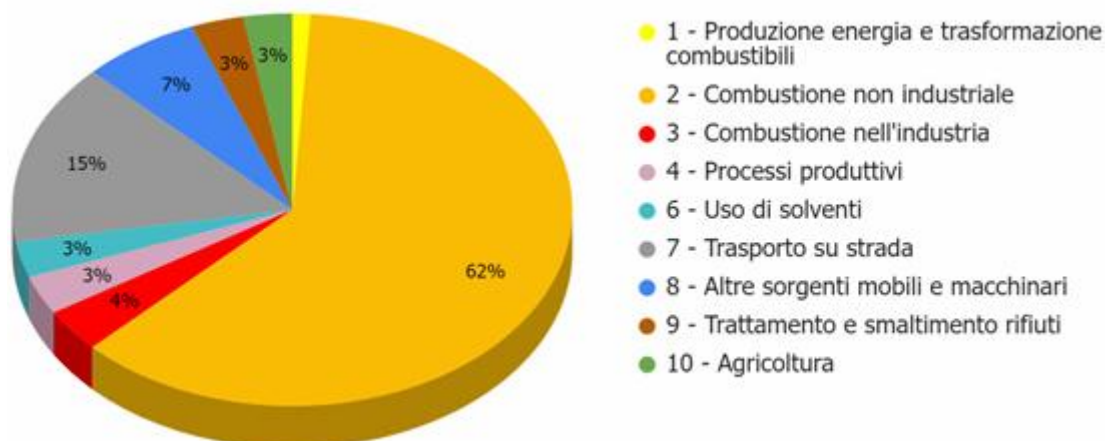


Figura 2-3 Ripartizione percentuale delle emissioni di PM_{2,5} (Fonte: "Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna relativo all'anno 2021" ARPAE 2024)

Nella seguente tabella si riportano i valori di emissione provinciali suddivisi per macrosettore.

Provincia di Ravenna								
Macrosettore	NO _x (t)	PTS (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2,5} (t)	SO ₂ (t)	CO (t)	NH ₃ (t)	COVn m (t)
Produzione di energia e trasformazione di combustibili	3.956	88	85	83	226	2.782	14	274
Combustione non industriale	6.140	5.991	5.706	5.564	215	43.254	665	4.912
Combustione industriale	8.934	655	415	323	6.534	5.744	19	461
Processi produttivi	559	956	482	289	2.068	1.196	156	2.066
Estrazione e distribuzione combustibili	-	-	-	-	-	-	-	3.782
Uso di solventi	51	401	278	240	1	19	2	24.413
Trasporto su strada	26.721	2.633	1.932	1.357	56	37.548	447	9.988
Altre sorgenti mobili e macchinari	10.156	630	621	612	99	3.265	2	1.031
Trattamento e smaltimento rifiuti	788	305	292	272	43	3.754	173	129
Agricoltura	683	879	484	255	15	804	41.106	36.449
Altre sorgenti	-	-	-	-	-	-	-	34.949
Totale	57.988	12.538	10.295	8.995	9.257	98.366	42.584	118.454

Tabella 4 Ripartizione delle emissioni per i macrosettori della Regione Emilia-Romagna a livello provinciale (Fonte: Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna INEMAR Emilia-Romagna)

Dalle emissioni a livello provinciale riportate nella precedente tabella si evince che:

- per le emissioni degli ossidi di azoto (NO_x), queste sono principalmente dovute al macrosettore "Altre sorgenti mobili e macchinari" (33%), al macrosettore "Produzione di energia e trasformazione di combustibili" (23%) e al macrosettore "Trasporto su strada" (20%);

- per il PM10 e il PM2,5, la principale fonte emissiva è rappresentata dal macrosettore "Combustione non industriale" (rispettivamente pari al 39% e al 43%), seguito dal macrosettore "Altre sorgenti mobili e macchinari" (rispettivamente pari al 22% e al 23%).

2.2 Emissioni di gas serra

2.2.1 Emissioni a livello nazionale

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

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

Il documento preso come riferimento, fornito dall'ISPRA è l' "*Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2023 National Inventory Report 2025*", dal quale è stato possibile individuare i valori medi annui delle emissioni di gas serra, espressi come CO₂ equivalente, generate dal settore energetico dal 1990 al 2023.

L'andamento delle emissioni di gas serra del settore energetico è riportato nella seguente tabella.

Inventario Nazionale Italiano Emissioni dei Gas Serra 1990-2023										
Emissioni di gas serra nel settore energetico (Mt CO₂ eq.)										
Gas serra	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
<i>Total Energy</i>	426,2	438,7	460,6	488,4	429,9	360	300	332,1	337,1	308,8
CO ₂	409,2	421,5	444,1	472,9	414,3	346,3	289,1	320,7	326,6	299,2
CH ₄	12,9	12,5	11,7	10,7	10,8	9,5	7,2	7,3	6,4	5,8
N ₂ O	4,1	48	4,8	4,8	4,7	4,2	3,8	4,1	4	3,8

Tabella 5 Emissioni nazionali di CO₂ equivalente nel settore energetico (Fonte: "*Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2023 National Inventory Report 2025*")

2.2.2 Emissioni a livello regionale

Allo scopo di analizzare i valori delle emissioni dei gas serra a livello regionale, si è fatto riferimento all' "Inventario delle emissioni GHG – Dati 2023", ultimo disponibile, realizzato da ARPA Emilia-Romagna.

Tale inventario è stato compilato secondo la metodologia "*IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*", definita nel 2006 e aggiornata nel 2019, che rappresenta lo standard tecnico internazionale per stimare e riportare le emissioni di gas serra e i loro assorbimenti.

In particolare, tale metodologia prevede una stima delle emissioni e degli assorbimenti di gas climalteranti secondo 5 settori principali, nei quali sono raggruppate sia le fonti emissive sia i

processi di stoccaggio di carbonio: energia (energy), processi industriali e uso di prodotti (IPPU), agricoltura, foresta e altri usi del suolo (AFOLU), rifiuti (waste) (cfr. Figura 2-4).

SETTORE IPCC	ATTIVITÀ	MACROSETTORE CORINAIR
ENERGIA (ENERGY)	<ul style="list-style-type: none"> • esplorazione e sfruttamento di fonti energetiche primarie • conversione delle fonti energetiche primarie in forme energetiche più utilizzabili nelle raffinerie e nelle centrali elettriche • trasmissione e distribuzione di carburanti • utilizzo di combustibili nelle attività produttive, nei trasporti e in sistemi destinati al riscaldamento 	<div>💡 MS1 - Produzione di energia e trasformazione di combustibili</div> <div>🏠 MS2 - Combustione non industriale</div> <div>🔥 MS3 - Combustione industriale</div> <div>🚰 MS5 - Estrazione e distribuzione di combustibili</div> <div>🚗 MS7 - Trasporto su strada</div> <div>✈️ MS8 - Altre sorgenti mobili e macchinari</div>
PROCESSI INDUSTRIALI E USO DI PRODOTTI (IPPU)	<ul style="list-style-type: none"> • processi industriali, dall'uso di gas serra nei prodotti all'uso non energetico del carbonio da combustibili fossili 	<div>🏭 MS4 - Processi produttivi</div> <div>🧴 MS6 - Uso di solventi</div>
AGRICOLTURA, FORESTA E ALTRI USI DEL SUOLO (AFOLU)	<ul style="list-style-type: none"> • coltivazioni agricole • zone umide gestite e terreni allagati • zootecnia (fermentazione enterica) e sistemi di gestione del letame • C stock associato ai prodotti legnosi raccolti • insediamenti • foreste 	<div>🐄 MS10 - Agricoltura</div> <div>🌲 MS11 - Altre sorgenti e assorbimenti</div>
RIFIUTI (WASTE)	<ul style="list-style-type: none"> • termovalorizzatori • discariche • impianti di depurazione 	<div>♻️ MS9 - Trattamento e smaltimento rifiuti</div>
ALTRO*	<ul style="list-style-type: none"> • emissioni indirette da depositi di azoto da fonti non agricole 	Non associato a un Macrosettoe Corinair

Figura 2-4 Settori IPCC-Macrosettori Corinair (Fonte: Inventario delle emissioni GHG – Dati 2023” ARPAE)

Le emissioni dei gas serra, relativamente all’anno 2023, per la regione Emilia-Romagna sono complessivamente 37.425 kt CO₂ eq, senza considerare gli assorbimenti.

In Figura 2-5 e Figura 2-6 si riportano le emissioni a livello regionale dei gas serra per ciascun settore IPCC.

	CO ₂ (kt)	CH ₄ (t)	N ₂ O (t)	CO ₂ eq (kt)
ENERGY ⚡	30.497	15.919	1.172	31.253
IPPU 🏭	1.271	0	0	1.271
AFOLU 🌳🐄	-3.694	91.122	2.673	-434
WASTE 🗑️	600	40.351	133	1.765
TOTALE	28.673	147.392	3.978	33.854
TOTALE (NO ASSORBIMENTI)	32.470	140.611	3.839	37.425

Fonte: Arpae Emilia-Romagna

⚡ ENERGY (emissioni)

🏭 IPPU (emissioni)

🌳🐄 AFOLU (emissioni/assorbimenti)

🗑️ WASTE (emissioni)

Figura 2-5 Contributi alle emissioni GHG in Emilia-Romagna per settore IPCC (2023) (Fonte: Inventario delle emissioni GHG – Dati 2023” ARPAE)

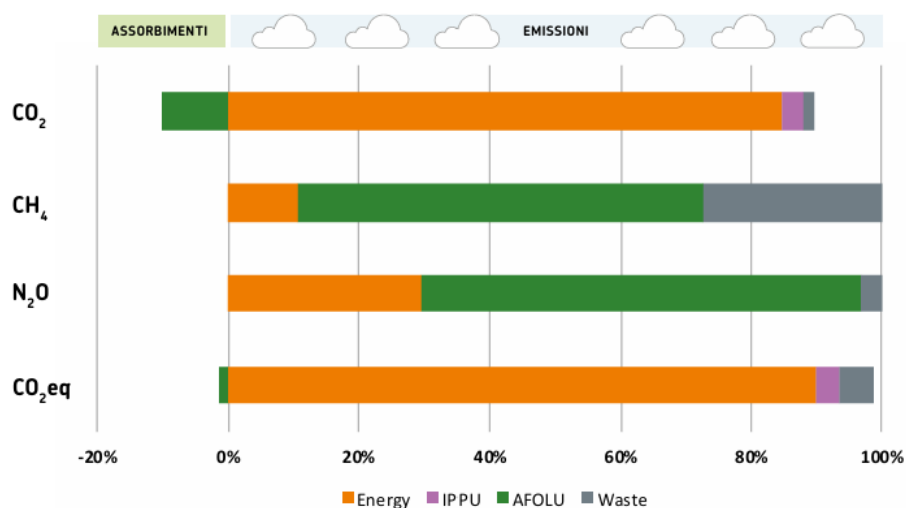








Figura 2-6 Ripartizione percentuale delle emissioni GHG in Emilia-Romagna per settore IPCC (2023)
(Fonte: Inventario delle emissioni GHG – Dati 2023” ARPAE)

In particolare, per quanto riguarda il settore Energia le emissioni sono riportate nella seguente figura.

	CO ₂ (kt/anno)	CH ₄ (t/anno)	N ₂ O (t/anno)	CO ₂ eq (kt/anno)
 PRODUZIONE ENERGIA E TRASFORMAZIONE COMBUSTIBILI	7.460	840	103	7.511
 SETTORE CIVILE	5.592	4.765	297	5.804
 COMBUSTIONE NELL'INDUSTRIA	5.562	156	43	5.578
 ESTRAZIONE/DISTRIBUZIONE COMBUSTIBILI	1	9.695	0	272
 TRASPORTO SU STRADA	10.643	406	331	10.742
 ALTRE SORGENTI MOBILI*	1.240	57	398	1.347
TOTALE COMPLESSIVO	30.497	15.919	1.172	31.253

Fonte: Arpae, Emilia-Romagna

* Altre sorgenti mobili: porti, aeroporti, mezzi agricoli

Figura 2-7 Emissioni per attività del settore Energy nel 2023 (Fonte: Inventario delle emissioni GHG – Dati 2023” ARPAE)

3 ANALISI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

3.1 Analisi delle concentrazioni

Allo scopo di caratterizzare l'area di interesse dal punto di vista della qualità dell'aria è stato fatto riferimento ai dati rilevati dal 2021 al 2025 dalla centralina ARPA Emilia – Romagna di "Ballirana", localizzata nel Comune di Alfonsine e caratterizzata come di fondo rurale.

Si specifica che i dati relativi al 2023 non sono presenti in quanto tale centralina è stata gravemente danneggiata dall'alluvione che ha colpito la Romagna nel mese di maggio 2023, e ciò ha causato la perdita di oltre il 50% dei dati dell'intera annualità.



Figura 3-1 Localizzazione centralina ARPA di riferimento rispetto all'impianto di progetto

3.1.1 Ossidi di azoto

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

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

L'ossido di azoto (NO), anche chiamato ossido nitrico, è un gas incolore, insapore ed inodore con una tossicità limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole. Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo - rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante. Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto all'elevata presenza di questo gas. Il biossido di azoto

svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi tra cui l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso e gli alchilnitrati. Da notare che gli NO_x vengono per lo più emessi da sorgenti al suolo e sono solo parzialmente solubili in acqua, questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente bassa. A causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante, in quanto risulta molto più tossico del monossido.

Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni delle funzioni polmonari, di bronchiti croniche, di asma e di enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica riduzione delle difese polmonari, con conseguente aumento di rischio di infezioni alle vie respiratorie soprattutto in soggetti bronchitici ed asmatici, negli anziani e nei bambini.

L'inquinamento da biossido di azoto ha un impatto sulla vegetazione di minore entità rispetto al biossido di zolfo. In alcuni casi, brevi periodi di esposizione a basse concentrazioni possono incrementare i livelli di clorofilla, mentre lunghi periodi possono causare la senescenza e la caduta delle foglie più giovani.

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

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

Concentrazioni di NO₂

Nella tabella seguente sono mostrati i valori di NO₂ registrati dalla centralina di qualità dell'aria di riferimento dal 2021 al 2025.

NO ₂					
Anno	2021	2022	2023	2024	2025
Concentrazione media annua (µg/m ³)	13,00	12,00	-	11,00	9,69
N° superamenti del limite orario	0	0	0	0	0

Tabella 6 Valori NO₂ (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)

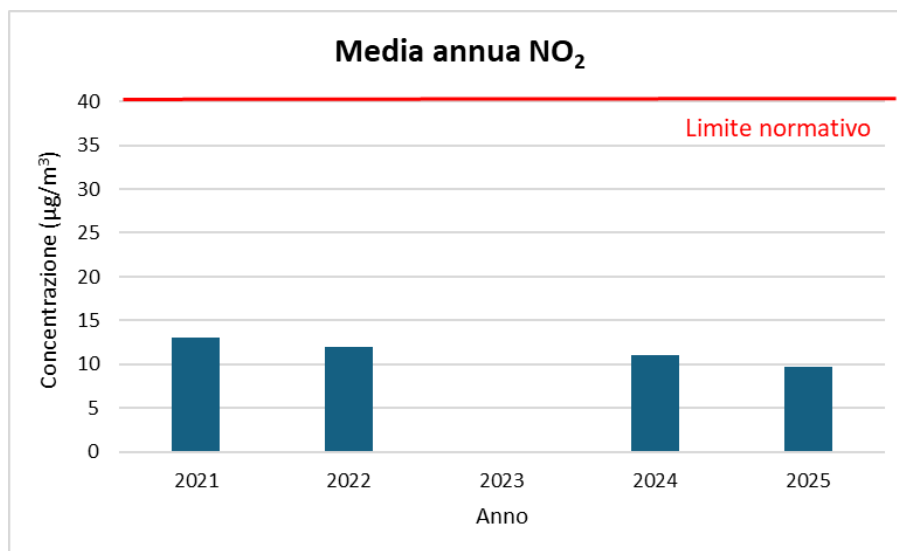


Figura 3-2 Concentrazione media annua NO₂ (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)

Come si può osservare in tabella e figura precedenti, il valore della concentrazione media annua di NO₂ non ha mai superato il limite annuo per la protezione della salute umana pari a 40 µg/m³. Inoltre, il limite orario di 200 µg/m³.da non superare più di 18 volte all’anno non è mai stato superato.

Concentrazioni di NO_x

Nella tabella seguente sono mostrati i valori di NO_x registrati dalla centralina ARPA di Ballirana nell’arco temporale di riferimento.

NO ₂					
Anno	2021	2022	2023	2024	2025
Concentrazione media annua (µg/m ³)	17,00	17,00	-	14,00	12,25

Tabella 7 Concentrazione media annua di NO_x (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)

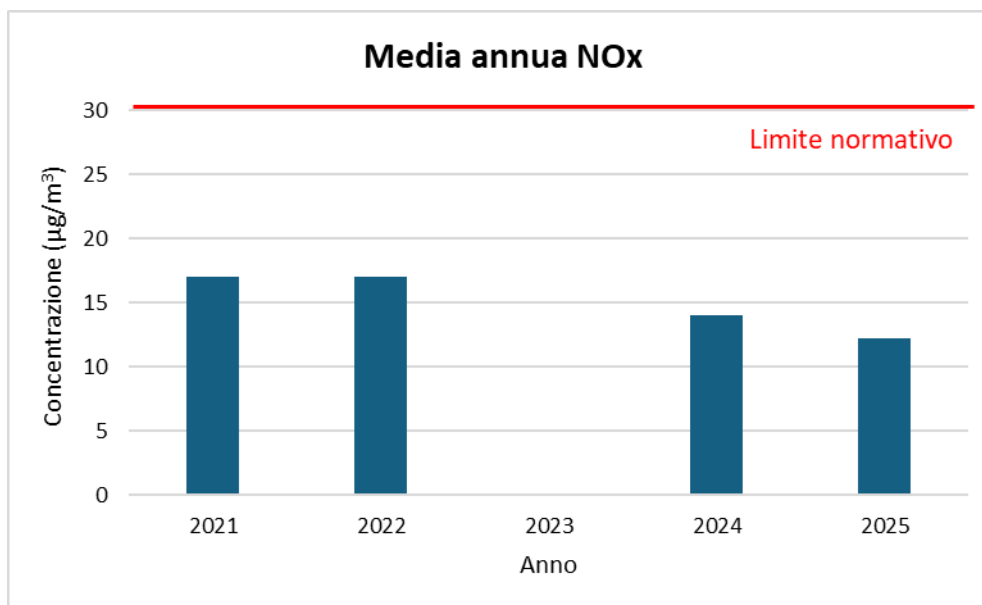


Figura 3-3 Concentrazione media annua NOx (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)

La Tabella 7 e la Figura 3-3 mostrano che nell'arco temporale di riferimento il limite annuo per la protezione della vegetazione, pari a 30 µg/m³, non è mai stato superato.

Relazione NOx – NO₂

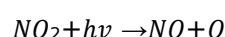
Il dato di partenza delle analisi, con particolare riferimento a quanto calcolato attraverso i modelli di analisi diffusionale degli inquinati, è relativo agli ossidi di azoto NOx. Con tale termine generalmente vengono indicate le due componenti più importanti, ovvero l'ossido di azoto NO ed il biossido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

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

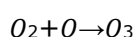
L'insieme di reazioni chimiche che intervengono nella trasformazione di NO in NO₂ è detto ciclo fotolitico.

Tale ciclo può essere schematizzato dalle seguenti reazioni.

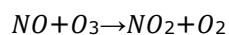
L'NO₂ prodotto nelle ore diurne assorbe energia dalle radiazioni UV, scindendosi in una molecola di NO ed in atomi di ossigeno reattivi:



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



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



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

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

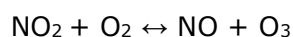
Per stimare tali valori esistono alcune leggi di correlazione empirica che permettono di valutare la quota parte di ossidi di azoto che si trasforma in biossido di azoto. Un esempio di valutazione è il metodo "Derwent and Middleton" 1996¹ il quale deriva da una stima di tipo empirico basata sul rapporto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

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

Da ulteriori fonti bibliografiche, "ARPA Emilia Romagna"³, è stato evidenziato come il valore del rapporto NO₂/NO_x sia pari al 10% "...si può ritenere che la produzione di NO₂, quale inquinante primario, sia pari al 10 % dell'ossido di azoto complessivamente generato...".

Continuando l'analisi bibliografica è stato possibile determinare ulteriori relazioni relative alle trasformazioni degli NO_x nelle due componenti principali NO e NO₂. Uno studio condotto in Cina (Suqin Han et al., 2011)⁴ ha valutato il rapporto NO₂/NO_x relazionandolo all'ozono, O₃.

Werner SCHOLZ e Peter RABL, 2006⁵ hanno messo in evidenza come lo sviluppo, nel tempo, dei rapporti NO₂/NO_x e l'ozono O₃ indichi la correlazione fotochimica tra gli ossidi di azoto e ozono. Un approccio semplice è l'equilibrio foto-stazionario:



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

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

dove k è la costante di equilibrio.

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

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

² Düring I, Bächlin W, Ketzel M, et al. (2011) A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions. Meteorologische Zeitschrift 20:67-73. doi: 10.1127/0941-2948/2011/0491

³ Arpa Emilia Romagna

⁴ Analysis of the Relationship between O₃, NO and NO₂ in Tianjin, China Suqin Han, Hai Bian, Yinchang Feng, Aixia Liu, Xiangjin Li, Fang Zeng, Xiaoling Zhang, 2011

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

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

Tale analisi ha mostrato un andamento parabolico della relazione tra NO₂ e NO_x. Infatti, dalla nuvola di punti, Figura 3-4 , è stato possibile determinare una legge di regressione tra NO_x e NO₂.

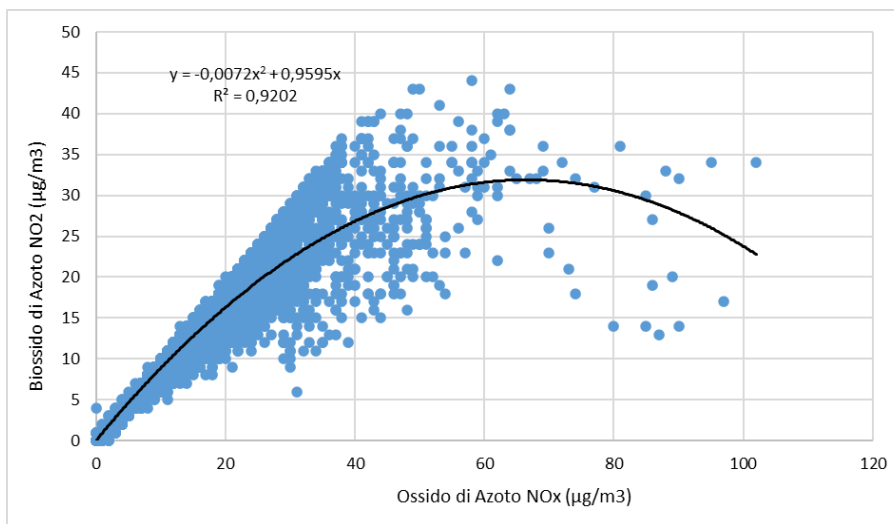


Figura 3-4 Nuvola di punti concentrazioni NO_x - NO₂ orarie [µg/m³] (Fonte: elaborazione dati Arpa)

Considerando la concavità verso il basso della curva di tendenza si può notare come superati i 66,63 µg/m³, all'aumentare degli NO_x, si ottiene una diminuzione degli NO₂. Questo per valori molto elevati di NO_x potrebbe diventare poco cautelativo.

Tuttavia, utilizzando le equazioni sopracitate, così come definito da Arpa Emilia-Romagna, attraverso una relazione lineare con coefficiente angolare pari a 0,1, si ottiene una relazione tra NO₂/NO_x pari al 10%, che fornisce valori cautelativi unicamente per valori di NO_x molto elevati.

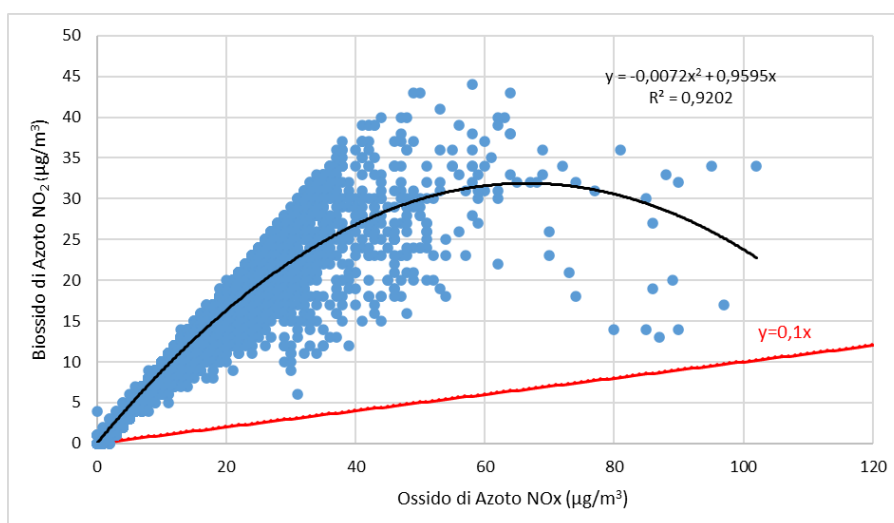


Figura 3-5 Confronto curve di correlazione NO₂-NO_x [µg/m³] (Fonte: elaborazione dati Arpa)

Confrontando le due curve si può notare come la retta di regressione lineare sia situata sempre al disotto della retta di regressione parabolica. Quindi si otterrebbe una sottostima della percentuale di NO₂ negli NO_x. (cfr. Figura 3-5).

Per cui, è stato considerato cautelativo utilizzare entrambe le curve correlandole a range differenti di ossido di azoto, tenendo anche presente l'affidabilità dalla relazione parabolica, il cui coefficienti di determinazione è $R^2 = 0,9202$.

Tale relazione è stata utilizzata fino al punto in cui la parabola decresce, quindi nell'intervallo 0 – 66,63 µg/m³ di ossidi di azoto. La relazione lineare inizia, invece, il suo intervallo di validità da 66,63 µg/m³ per cui da quel valore di NO_x si considera la retta traslata verso l'alto.

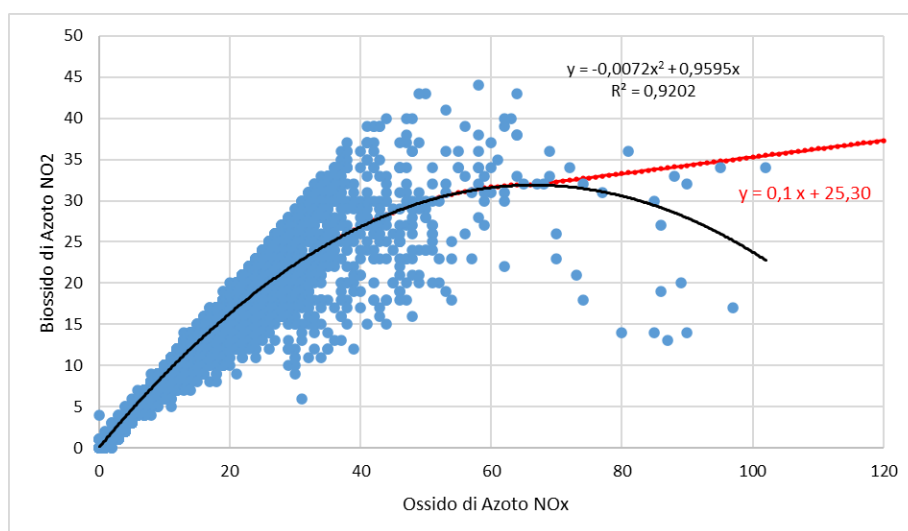


Figura 3-6 Combinazione delle curve di regressione considerate [µg/m³] (Fonte: elaborazione dati Arpa)

In riferimento alla Figura 3-6 è necessario fare delle precisazioni: la parte crescente della parabola garantisce una buona interpolazione per la maggioranza dei valori; i valori maggiori del massimo della parabola invece sono in quantità inferiore e pertanto l'approssimazione data dalla retta, che comunque come andamento segue i punti rappresentati, può ritenersi cautelativa in merito al suo scostamento verso l'alto, al quale corrisponde, per ogni valore di NO_x, un valore di NO₂ maggiore rispetto a quello misurato. La scelta di questa equazione pertanto è stata effettuata a favore di sicurezza ed in via cautelativa, pur sovrastimando l'NO₂ per valori alti di NO_x.

Riassumendo:

- per valori di NO_x compresi tra 0 e 66,63 µg/m³ si utilizza l'equazione $y = - 0,0072 x^2 + 0,9595 x$;
- per valori di NO_x maggiori di 66,63 µg/m³ si utilizza l'equazione $y = 0,1 x + 25,30$.

3.1.2 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 ($1\ \mu\text{m}$);
- le foschie, date da goccioline con diametro inferiore a $2\ \mu\text{m}$;
- le esalazioni, costituite da particelle solide con diametro inferiore ad $1\ \mu\text{m}$ e rilasciate solitamente da processi chimici e metallurgici;
- il fumo, dato da particelle solide di solito con diametro inferiore ai $2\ \mu\text{m}$ e trasportate da miscele di gas;
- le polveri, costituite da particelle solide con diametro fra $0,25$ e $500\ \mu\text{m}$;
- le sabbie, date da particelle solide con diametro superiore ai $500\ \mu\text{m}$.

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 $2,5\ \mu\text{m}$, 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 $10\ \mu\text{m}$ e vengono anche dette polveri inalabili perché sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe). Una frazione di circa il 60% di queste è costituita dalle polveri PM_{2,5} che rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a $2,5$ micron. Le PM_{2,5} sono anche dette polveri respirabili perché possono penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari). A prescindere dalla tossicità, le particelle che possono produrre degli effetti indesiderati sull'uomo sono sostanzialmente quelle di dimensioni più ridotte; infatti, nel processo della respirazione le particelle maggiori di $15\ \mu\text{m}$ vengono generalmente rimosse dal naso.

Il particolato che si deposita nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (cavità nasali, faringe e laringe) può generare vari effetti irritativi come l'infiammazione e la secchezza del naso e della gola; tutti questi fenomeni sono molto più gravi se le particelle hanno assorbito sostanze acide (come il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, ecc.). Per la particolare struttura della superficie, le particelle possono anche adsorbire dall'aria sostanze chimiche cancerogene, trascinandole nei tratti respiratori e prolungandone i tempi di residenza, accentuandone gli effetti.

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

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

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

Gli effetti del particolato sul clima della terra sono invece piuttosto discussi; sicuramente un aumento del particolato in atmosfera comporta una diminuzione della temperatura terrestre per un effetto di riflessione e schermatura della luce solare, in ogni caso tale azione è comunque mitigata dal fatto che le particelle riflettono anche le radiazioni infrarosse provenienti dalla terra. È stato comunque dimostrato che negli anni immediatamente successivi alle più grandi eruzioni vulcaniche di tipo esplosivo (caratterizzate dalla emissione in atmosfera di un'enorme quantità di particolato) sono seguiti degli anni con inverni particolarmente rigidi. Alcune ricerche affermano che un aumento di 4 volte della concentrazione del particolato in atmosfera comporterebbe una diminuzione della temperatura globale della terra pari a 3,5°C.

Concentrazioni di PM_{2,5}

Di seguito sono riportati i valori di concentrazione media annua di PM_{2,5} registrati dalla centralina di riferimento dal 2021 al 2025.

PM_{2,5}					
<i>Anno</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>	<i>2024</i>	<i>2025</i>
Concentrazione media annua (µg/m ³)	15,00	17,00	-	16,00	12,23

Tabella 8 Concentrazione media annua di PM_{2,5} (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)

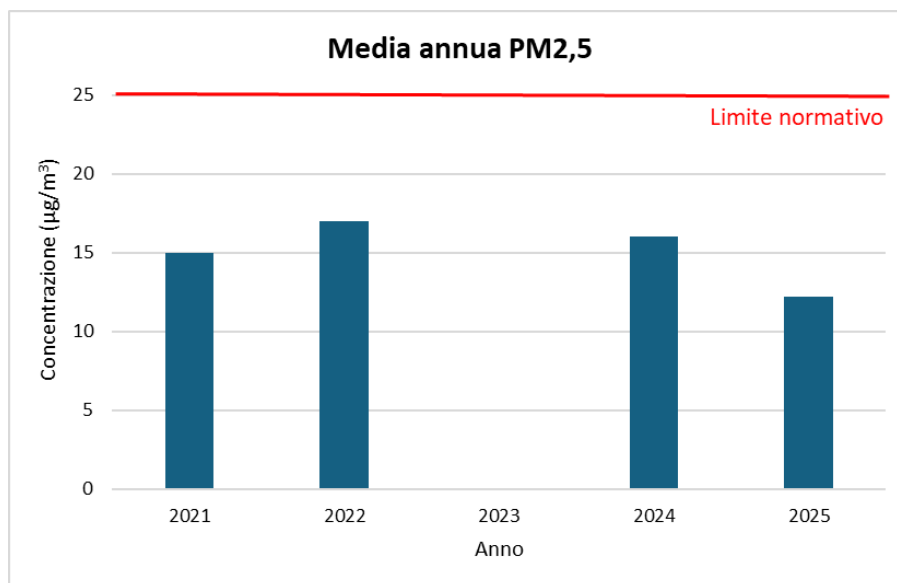


Figura 3-7 Concentrazione media annua di PM2,5 (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)

In tabella e figura precedenti si può osservare che nell’arco temporale di riferimento la concentrazione media annua di PM2,5 non ha mai supera il limite annuo per la protezione della salute umana di 25 µg/m³.

Concentrazioni di PM10

Il PM10 non è rilevato dalla centralina di Ballirana, pertanto allo scopo di avere un valore di riferimento per tale inquinante, i valori di seguito riportati sono stati ottenuti considerando la relazione $PM_{2,5} = 60 \% PM_{10}$.

PM10					
Anno	2021	2022	2023	2024	2025
Concentrazione media annua (µg/m³)	25,00	28,33	-	26,67	20,38

Tabella 9 Concentrazione media annua di PM10 (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)

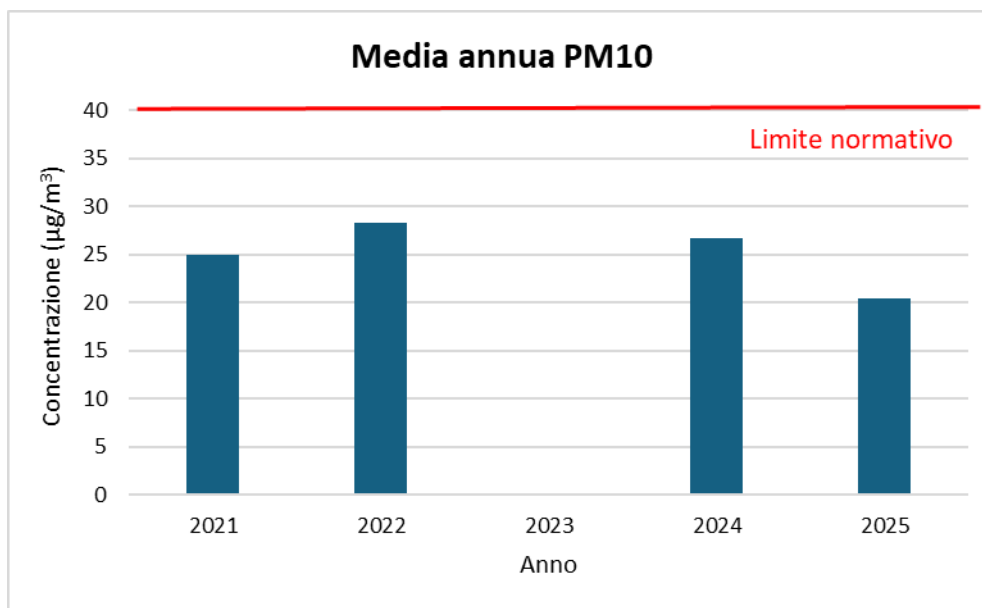


Figura 3-8 Concentrazione media annua di PM10 (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)

In Tabella 9 e in Figura 3-8 è mostrato come le concentrazioni medie annue di PM10 sono sempre al di sotto del limite annuo per la protezione della salute umana di 40 µg/m³.

3.2 Quadro sinottico di qualità dell'aria

Di seguito si riassumono i valori di qualità dell'aria degli inquinanti di interesse rilevati dalla centralina di "Bellirana", classificata come di "fondo rurale", relativi all'anno 2025.

Questi valori sono ritenuti rappresentativi della qualità dell'aria della zona in esame e saranno utilizzati come valori di fondo da sommare ai valori di output ottenuti a seguito delle simulazioni modellistiche.

Inquinanti	Concentrazioni medie annue registrate dalla centralina di Ballirana "fondo rurale" – 2025 (µg/m³)
NO ₂	9,69
NO _x	12,25
PM10 (*)	20,38
PM2,5	12,23
(*) Valore stimato considerando la relazione PM2,5 = 60% PM10	

Tabella 10 Valori di riferimento per il fondo della qualità dell'aria – 2025 (Fonte: elaborazione dati Arpa Emilia-Romagna)

4 ANALISI DELLE POTENZIALI INTERFERENZE IN FASE DI CANTIERE

4.1 Aspetti generali

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

In particolare, 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 l'emissione dei gas di scarico da parte dei mezzi di cantiere.

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

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

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

4.2 Il modello di simulazione utilizzato

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"⁶, 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.

⁶ AERMOD Tech Guide – Gaussian Plume Air Dispersion Model. Version 7.6

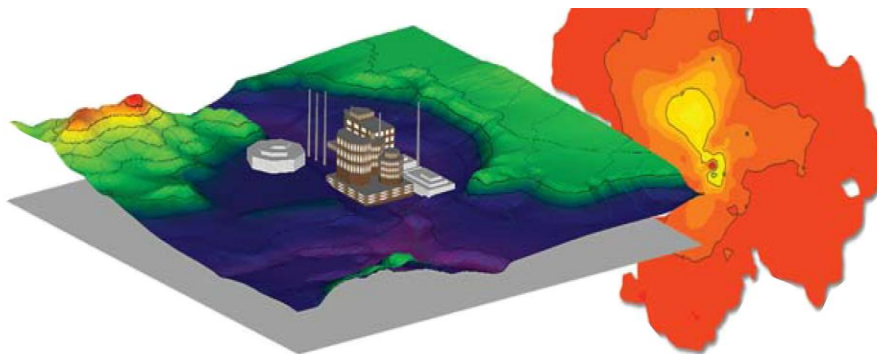


Figura 4-1 Aermid View Esempio di modellazione grafica 3D delle curve di isoconcentrazione

Il codice AERMOD è stato sviluppato dall'American Meteorological Society – EPA, quale evoluzione del modello gaussiano ISC3. La dispersione in atmosfera della sostanza inquinante è funzione delle condizioni di stabilità atmosferica dell'area di riferimento stessa⁷:

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

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

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

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

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

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.

⁷ US EPA, User Guide for the AMS EPA regulatory model AERMOD – USA (2004)

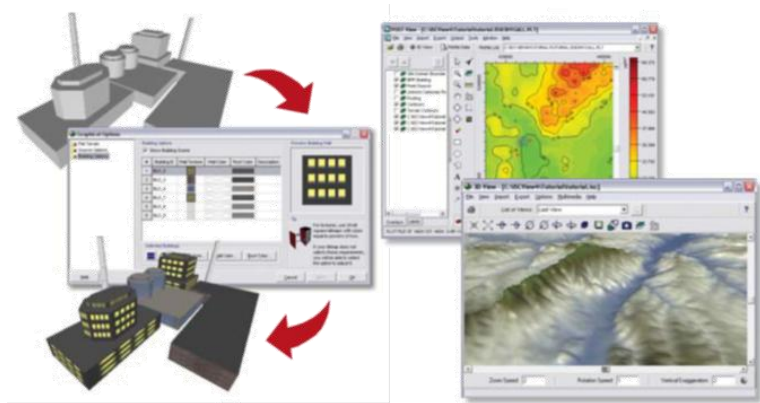


Figura 4-2 Esempio di modulo di visualizzazione 3D integrato nel modello di calcolo

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.

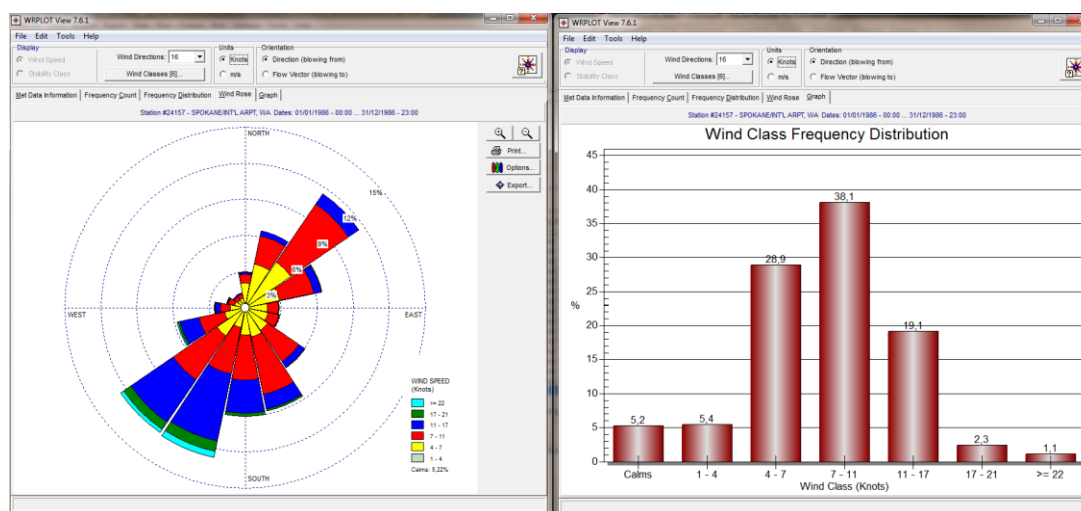


Figura 4-3 Esempio di applicazione del modulo AERMET

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

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

- parametri territoriali;
- parametri progettuali.

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

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

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

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

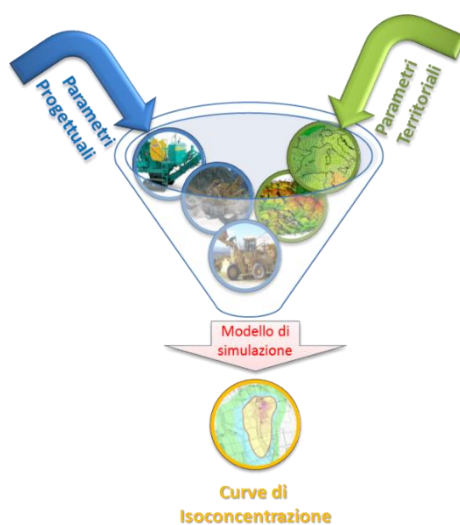


Figura 4-4 Definizione logica del modello adottato

4.3 Gli input del software Aermid View

4.3.1 Gli input territoriali

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

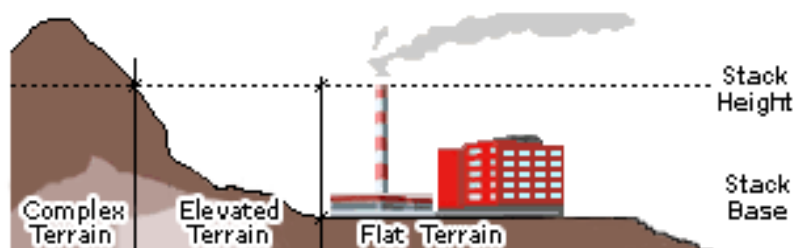


Figura 4-5 Tipologie di configurazioni territoriali

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

4.3.2 Gli input meteorologici

Uno degli input fondamentali per l'analisi delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera è il dato meteo. Per ricreare lo scenario diffusivo caratteristico del sito simulato, 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 meteoclimatiche registrate al suolo nel sito di studio, l'altro descrittivo dell'andamento verticale dei principali parametri meteorologici.

Nel caso specifico sono stati utilizzati i dati registrati dalla stazione meteorologica di riferimento descritta precedentemente 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 meteoclimatica 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.

1234525010100999120030370000
1234525010101999160040360000
1234525010102999070040360000

Tabella 11 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 seconda della casella che occupa:

- 1-5: indicano il codice della postazione meteorologica che ha registrato i dati; nell'esempio mostrato è stata denominata "12345";
- 6-7: indicano l'anno che si sta considerando; l'esempio riguarda l'anno 2025 che viene indicato con le ultime due cifre "25";
- 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 FAA⁸ 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 Estimator⁹.

4.3.3 Gli input progettuali

4.3.3.1 La metodologia del Worst Case Scenario

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

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

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

⁸ http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/

⁹ Worldwide Data Quality Effects on PBL Short-Range Regulatory Air Dispersion Models – Jesse L. Thé, Russell Lee, Roger W. Brode

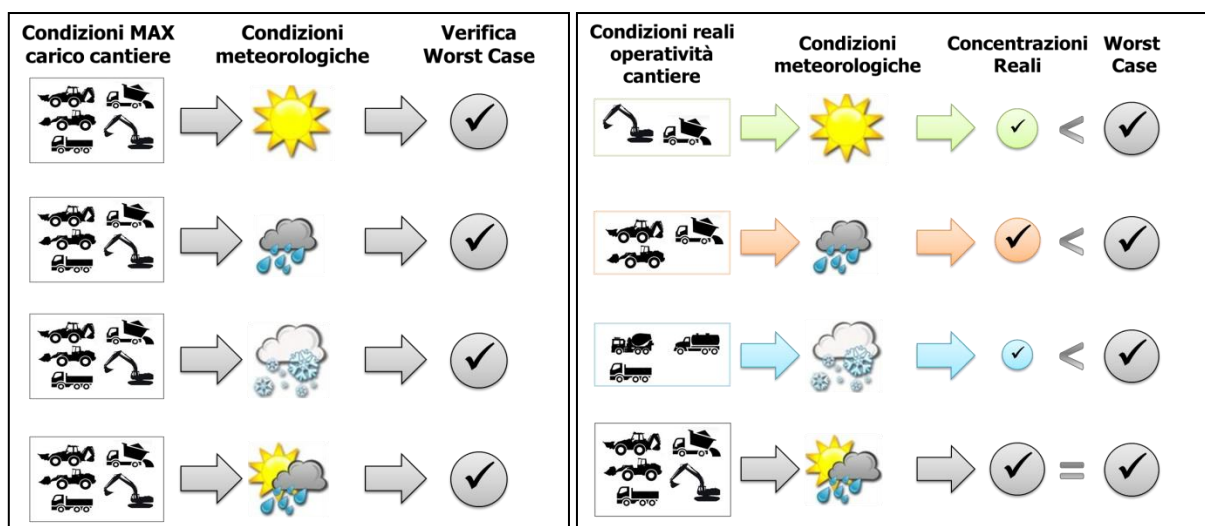


Figura 4-6 Logica delle verifiche con il worst case scenario

Volendo esplicitare la logica della figura appena riportata, 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.

4.3.3.2 La definizione degli scenari di simulazione

Con riferimento alle attività di cantiere previste per il progetto in esame, il presente paragrafo è volto all'individuazione dello scenario più critico in termini di movimentazione di terra e scarichi dei motori dei mezzi d'opera. Infatti, queste rappresentano le attività che maggiormente concorrono alle emissioni di inquinanti in atmosfera.

In considerazione di ciò e della presenza e della vicinanza di recettori residenziali, è stato quindi individuato lo scenario di riferimento per le analisi modellistiche in fase di cantiere, che intende rappresentare la situazione più gravosa per i recettori presenti.

In particolare, sono stati considerati due scenari:

- Scenario 1: costituito da un'area di cantiere relativa al cantiere mobile (cfr. Figura 4-7) per la realizzazione del cavidotto. Tenendo in conto una giornata lavorativa, è stata considerata un'area di superficie pari circa 800 m²; all'interno della quale è stato ipotizzato l'utilizzo di un escavatore, un autocarro e una pala gommata.
- Scenario 2: in cui sono state considerate come sorgenti emissive le aree di lavorazione (AL) per la realizzazione del progetto in esame, all'interno delle quali è stato ipotizzato l'utilizzo di un autocarro, un'autogrù e una macchina per pali, e le aree di stoccaggio delle terre (AS), in cui è stato previsto l'utilizzo di un autocarro e un escavatore (cfr. Figura 4-8).

Il traffico di cantiere è stato ritenuto trascurabile in quanto è stata ipotizzata una movimentazione del terreno scavato pari a circa 100 m³/giorno e, in considerazione di 8 ore lavorative giornaliere, è stato calcolato 1 mezzo orario circolante.

Nella seguente tabella sono riportate le attività considerate in ogni area di cantiere considerata nei 2 scenari di riferimento.

Scenario di riferimento	Aree emissive	Attività di cantiere
Scenario 1	Realizzazione cavidotto (Cantiere mobile)	Formazione e stoccaggio cumuli
		Carico del materiale polverulento
		Gas di scarico dei mezzi
Scenario 2	Area di lavorazione (AL)	Formazione e stoccaggio cumuli
		Gas di scarico dei mezzi
	Area di stoccaggio (AS)	Formazione e stoccaggio cumuli
		Scarico del materiale polverulento
		Gas di scarico dei mezzi

Tabella 12 Aree di cantiere simulate

Si specifica come per le polveri (PM10 e PM2,5) 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 stato 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.

La definizione dei punti di calcolo

Per poter definire le curve di isoconcentrazione è necessaria la definizione di una maglia di punti di calcolo. 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 è stata definita una maglia regolare per ogni scenario, le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Caratteristiche maglia di calcolo	Scenario 1	Scenario 2
Coordinate del centro della maglia Asse X	724963,02	727040,26
Coordinate del centro della maglia Asse Y	4929889,63	4929458,10
Passo lungo l'asse X	60	200
Passo lungo l'asse Y	45	190
N° di punti lungo l'asse X	25	30
N° di punti lungo l'asse Y	25	30
N° di punti di calcolo totali	625	900

Tabella 13 Coordinate maglia dei punti di calcolo

Al fine di poter effettuare la sovrapposizione degli effetti tra i valori di fondo di qualità dell'aria ed il contributo del cantiere in esame, per lo Scenario 1 si è fatto riferimento a 6 punti recettori residenziali, rappresentativi degli edifici più vicini all'area di cantiere simulata, e a un recettore vegetazionale, come descritto in tabella e figura seguenti.

Recettore	Coordinata Est (m) WGS84 32N	Coordinata Nord (m) WGS84 32N
R1	725014,82	4929835,18
R2	724971,33	4929867,64
R3	725016,05	4929895,52
R4	725058,31	4929910,83
R5	725101,81	4929900,42
R6	725000,42	4929940,24
V1	725047,59	4929855,39

Tabella 14 Coordinate recettori considerati – Scenario 1



Figura 4-7 Sorgente emissiva simulata per la realizzazione del cavidotto e recettori considerati (in blu il tratto di cavidotto) – Scenario 1

Per lo Scenario 2 si è invece fatto riferimento a 12 punti recettori residenziali, rappresentativi degli edifici più prossimi alle aree di cantiere simulate, e a 2 punti recettori vegetazionali, descritti in tabella e figura seguenti.

Recettore	Coordinata Est (m) WGS84 32N	Coordinata Nord (m) WGS84 32N
R7	726749,50	4930719,03
R8	726798,38	4930863,84
R9	727300,24	4930730,06
R10	727660,61	4929882,03
R11	727083,00	4929491,42
R12	726889,44	4929523,85
R13	726674,97	4929630,57
R14	726479,37	4929602,43
R15	726371,36	4928854,78
R16	726045,09	4929338,47
R17	727506,21	4928782,03
R18	727572,49	4929087,45
V2	727206,18	4929984,43
V3	726383,05	4928991,32

Tabella 15 Coordinate recettori considerati – Scenario 2



Figura 4-8 Sorgente emissiva simulata relativa alla realizzazione dell'impianto e recettori considerati – Scenario 2

4.3.4 I fattori di emissione

I fattori di emissione rappresentano la capacità unitaria di emissione delle attività che si stanno analizzando. Il fattore di emissione, quindi, rappresenta la parte unitaria delle emissioni che, moltiplicata per l'unità di tempo in cui la sorgente rimane in condizione "attiva", permette il calcolo delle emissioni di inquinanti totali "usciti" dalla sorgente.

Per la stima di tali valori si è ricorso ai dati bibliografici messi a disposizione dalla U.S. E.P.A. (United States Environmental Protection Agency) Emission Factors&AP42 "Compilation of Air Pollutant Emission Factor". In tale documento sono riportati tutti i fattori di emissione riguardanti le principali sorgenti, dagli impianti industriali, agli impianti estrattivi, sino alle operazioni di costruzioni civili.

Nei seguenti paragrafi, verranno calcolati i singoli fattori di emissione relativi al PM₁₀, al PM_{2,5} e all'NO_x (principali inquinanti generati dalle operazioni di cantiere), in relazione alle attività ritenute critiche per l'inquinamento atmosferico.

I fattori di emissione relativi alla formazione e allo stoccaggio di cumuli

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

Con riferimento alle attività in esame è stata applicata la formulazione fornita dall'E.P.A. di seguito riportata.

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

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

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

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

Tabella 16 Valori coefficiente aerodinamico fonte: EPA AP42

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

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

Tabella 17 Range di validità dei coefficienti per il calcolo di EF fonte: EPA AP42

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

- U = velocità media del vento considerando la configurazione più frequente pari a 2,4 m/s (valore desunto dall'analisi meteorologica);
- M = percentuale di umidità considerata pari a 4,8 %;
- k = pari a 0,35 per considerare l'apporto del PM10 e 0,053 per considerare l'apporto del PM2,5.

Applicando la formulazione sopra indicata ed ipotizzati circa 100 m³/giorno di materiale movimentato, il fattore di emissione del PM10 risulta essere pari a 0,00033 g/s, e quello del PM2,5 pari a 0,00005 g/s.

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

All'interno delle aree di stoccaggio viene tenuta in considerazione, come altra attività che genera emissioni di PM10 e PM2,5, l'erosione del vento sui cumuli di materiale depositati.

Al fine di poter determinare il fattore di emissione di tale azione è possibile riferirsi alla già citata guida dell'EPA.

In questo caso il modello fa dipendere il fattore di emissione da due fattori che concorrono alla possibile emissione di particolato da parte del cumulo:

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

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

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

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

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)			
30 μm	<15 μm	<10 μm	<2,5 μm
1,0	0,6	0,5	0,075

Tabella 18 Valori coefficiente aerodinamico (Fonte: EPA AP42)

Il fattore N, invece, dipende dal numero di movimentazioni a cui è sottoposto un cumulo ogni anno. Nel caso in esame si è supposto, in via cautelativa, che tutti i cumuli fossero sottoposti ad almeno una movimentazione giornaliera. In ultimo, l’erosione potenziale, P_i , parte dal concetto di profilo di velocità del vento, per il quale è possibile utilizzare la seguente equazione:

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

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

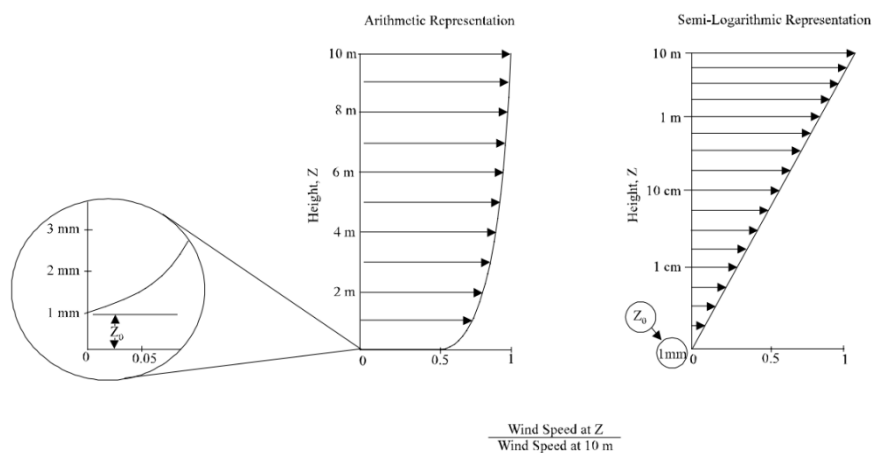


Figura 4-9 Illustrazione del profilo logaritmico della velocità (Fonte: EPA AP42)

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

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

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

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

Tabella 19 Valore di velocità di attrito limite

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

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

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

È importante, inoltre, evidenziare come tale formulazione sia valida per cumuli "bassi", ovvero cumuli per cui il rapporto altezza su diametro sia inferiore a 0,2. Nel caso in esame, in relazione all'operatività del cantiere si è ipotizzata la realizzazione di tali tipologie di cumuli. Non si necessita pertanto di ulteriori correzioni ed è quindi possibile determinare i casi in cui il valore di u^* supera il valore di u_t^* . A tale proposito si è scelto di fare riferimento per il valore di u_t^* alla classe "roadbed material", pari a 1,33.

Nel calcolo di u_{10}^+ è stata considerata anche la presenza di eventuali raffiche. Ordinando i valori in senso decrescente in funzione dei diversi giorni dell'anno è possibile determinare il grafico di Figura 4-10.

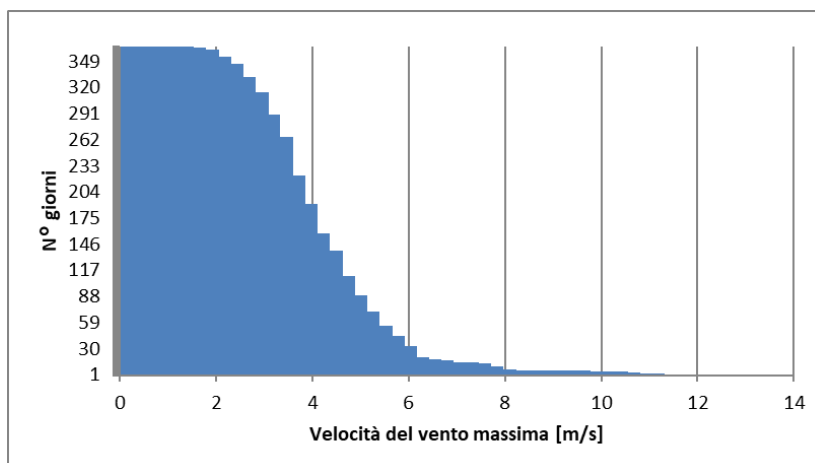


Figura 4-10 Velocità del vento massima ordinata in senso crescente

Da tali valori è quindi stato possibile determinare i valori di u^* così come riportato in Figura 4-11.

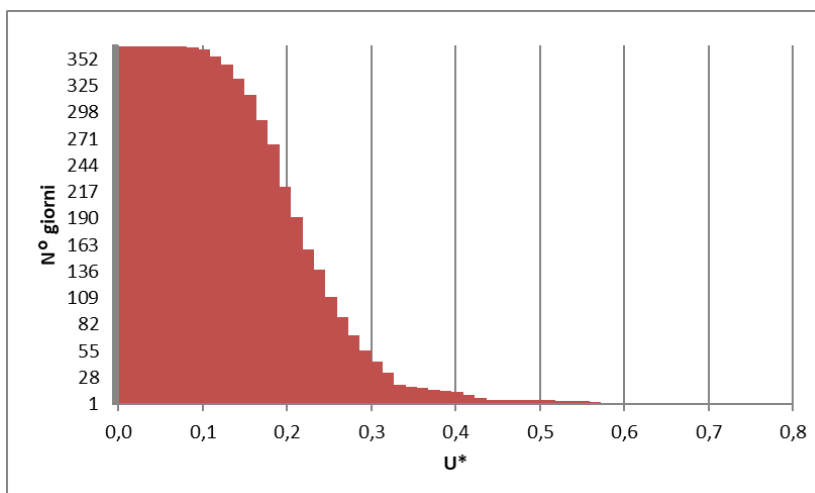


Figura 4-11 Valori di u^* ordinati in senso crescente

Dall'analisi dei risultati emerge come u^* non assuma mai valori soglia superiori a u^*_{t} , pertanto, l'effetto dell'erosione del vento sui cumuli di materiale depositato nelle aree di stoccaggio risulta trascurabile e di conseguenza non verrà considerato all'interno della simulazione modellistica.

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

Per il calcolo dell'emissione dei gas di scarico relativa ai mezzi presenti in cantiere è stato fatto riferimento 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 (riportati nella seguente tabella), tenendo conto del numero dei mezzi impiegati e del numero di ore di lavoro giornaliero di ciascuno di essi.

Mezzi di cantiere	Potenza motore (KW)	NOx (g/s)	PM (g/s)
Autocarro	250	0,0552	0,0019
Escavatore	175	0,0425	0,0021
Pala gommata	175	0,0528	0,0028
Autogrù	Composite	0,0760	0,0029
Macchina per pali	175	0,0186	0,0005

Tabella 20 Fattori di emissione relativi ai gas di scarico dei mezzi di cantiere considerati

I fattori di emissione relativi a scotico e sbancamento del materiale superficiale

Per quanto riguarda le attività di carico e scarico del materiale polverulento, sono state utilizzate le formulazioni presenti nel paragrafo 13.2.3 dell'AP-42 relativo alla parte "Heavy construction operations" e al paragrafo 11.9 "Mineral Products Industry", che riportano per le attività di carico e scarico un valore costante espresso, in entrambi i casi, in kg per tonnellata di materiale caricato o scaricato.

Nello specifico, le due lavorazioni assumono i seguenti fattori emissivi:

- 0,0075 kg/t per materiale caricato;
- 0,0005 kg/t per materiale scaricato.

Ipotizzando la medesima produttività soprariportata, è stato possibile ottenere un fattore di emissione del PM10, espresso in g/s per entrambe le attività, pari a:

- 0,009 g/s per le attività di scarico del materiale;
- 0,0014 g/s per le attività di carico del materiale.

Sintesi fattori di emissione

In merito ai fattori di emissione per ogni area di cantiere di entrambi gli scenari considerati si può far riferimento alla seguente tabella.

Scenario di riferimento	Aree emissive	Fattore di emissione areale [g/s]		
		PM10	PM2,5	NOx
Scenario 1	Realizzazione cavidotto (Cantiere mobile)	0,0195	0,0116	0,151
Scenario 2	Area di lavorazione (AL)	0,0056	0,0032	0,150
	Area di stoccaggio (AS)	0,0054	0,0031	0,098

Tabella 21 Fattori di emissione di PM10, PM2,5 e NOx delle aree simulate

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 Aermid 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 4-12.

Figura 4-12 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.

4.4 Output delle simulazioni

I risultati delle simulazioni condotte hanno portato alla stima delle concentrazioni degli inquinanti in termini di PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ e NO_x.

In particolare, sono stati analizzate:

- le concentrazioni medie annue di PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ e NO_x;
- le concentrazioni massime giornaliere di PM₁₀;
- le concentrazioni massime orarie di NO₂.

4.4.1 Scenario 1

4.4.1.1 PM₁₀

Concentrazioni medie annue di PM₁₀

Per quanto riguarda i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali in termini di media annua di PM10, questi sono riportati nella seguente tabella.

Recettore	Concentrazione media annua di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di PM10 registrata dalla centralina di riferimento – 2025 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
R1	0,77	20,38	21,15	40
R2	1,66		22,04	
R3	3,66		24,04	
R4	2,58		22,96	
R5	1,06		21,44	
R6	0,50		20,88	

Tabella 22 Concentrazione media annua di PM10 – Scenario 1

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R3 ed è pari a $3,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite annuo per la protezione della salute umana di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 1 relativa alle concentrazioni medie annue di PM10 ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-13 Mappa di isoconcentrazione della media annua di PM10 – Scenario 1

Concentrazioni massime giornaliere di PM10

Nella seguente tabella sono riportati i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali in termini di concentrazioni massime giornaliere di PM10.

Recettore	Concentrazioni massime giornaliere di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di PM10 registrata dalla centralina di riferimento – 2025 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
R1	6,66	20,38	27.04	50
R2	9,24		29.62	
R3	18,50		38.88	
R4	13,34		33.72	
R5	9,31		29.69	
R6	3,78		24.16	

Tabella 23 Concentrazioni massime giornaliere di PM10 – Scenario 1

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R3 ed è pari a $38,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite giornaliero per la protezione della salute umana di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 1 relativa alle concentrazioni massime giornaliere di PM10 ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-14 Mappa di isoconcentrazione delle massime giornaliere di PM10 – Scenario 1

4.4.1.2 PM2,5

Concentrazioni medie annue di PM_{2,5}

Per quanto riguarda i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali in termini di media annua di PM_{2,5}, questi sono riportati nella seguente tabella.

Recettore	Concentrazione media annua di PM _{2,5} (µg/m ³)	Media annua di PM _{2,5} registrata dalla centralina di riferimento – 2025 (µg/m ³)	Qualità dell'aria complessiva (µg/m ³)	Limite normativo (µg/m ³)
R1	0,46	12,23	12,69	25
R2	0,98		13,21	
R3	2,16		14,39	
R4	1,52		13,75	
R5	0,62		12,85	
R6	0,29		12,52	

Tabella 24 Concentrazioni medie annue di PM_{2,5} – Scenario 1

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R3 ed è pari a 2,16 µg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite annuo per la protezione della salute umana di 25 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 1 relativa alle concentrazioni medie annue di PM_{2,5} ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-15 Mappa di isoconcentrazione della media annua di PM_{2,5} – Scenario 1

4.4.1.3 NO₂

I fattori di emissione esistenti sono relativi all'NO_x, pertanto le simulazioni effettuate sono relative a tale inquinante.

Tuttavia, il limite normativo riguardante la salute umana è relativo all'NO₂, per tale ragione nella seguente tabella sono riportati, presso i recettori residenziali, i valori dell'NO_x trasformati in NO₂ utilizzando le equazioni descritte nel paragrafo 3.1.1, di seguito riportate:

- per $0 < \text{NO}_x \leq 66,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$: $y = -0,0072 x^2 + 0,9595 x$;
- per $\text{NO}_x > 66,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$: $y = 0,1 x + 25,30$.

Concentrazioni medie annue di NO₂

Nella seguente tabella sono quindi riportati i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali in termini di media annua di NO₂.

Recettore	Concentrazione media annua di NO ₂ (μg/m ³)	Media annua di NO ₂ registrata dalla centralina di riferimento – 2025 (μg/m ³)	Qualità dell'aria complessiva (μg/m ³)	Limite normativo (μg/m ³)
R1	1,97	9,69	11,66	40
R2	4,14		13,83	
R3	8,78		18,47	
R4	6,33		16,02	
R5	2,68		12,37	
R6	1,27		10,96	

Tabella 25 Concentrazioni medie annue di NO₂ – Scenario 1

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R3 ed è pari a 18,47 μg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite annuo per la protezione della salute umana di 40 μg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 1 relativa alle concentrazioni medie annue di NO_x ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-16 Mappa di isoconcentrazione della media annua di NOx- Scenario 1

Concentrazioni massime orarie di NO₂

Nella seguente tabella sono riportati i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali in termini di concentrazioni massime orarie di NO₂.

Recettore	Concentrazione massima oraria di NO ₂ (µg/m ³)	Media annua di NO ₂ registrata dalla centralina di riferimento - 2025 (µg/m ³)	Qualità dell'aria complessiva (µg/m ³)	Limite normativo (µg/m ³)
R1	57,25	9,69	66,94	200
R2	61,81		71,50	
R3	69,00		78,69	
R4	65,54		75,23	
R5	54,82		64,51	
R6	45,86		55,55	

Tabella 26 Concentrazioni massime orarie di NO₂ - Scenario 1

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R3 ed è pari a 69 µg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite orario per la protezione della salute umana di 200 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 1 relativa alla concentrazione massima oraria di NOx ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-17 Mappa di isoconcentrazione delle massime orarie di NOx – Scenario 1

4.4.1.4 NOx

Concentrazioni medie annue di NOx

Per quanto riguarda i risultati emersi in corrispondenza del recettore vegetazionale considerato in termini di media annua di NOx, questi sono riportati nella seguente tabella.

Recettore	Concentrazione media annua di NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di NOx registrata dalla centralina di riferimento – 2025 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
V1	2,18	12,25	14,43	30

Tabella 27 Concentrazioni medie annue di NOx – Scenario 1

Si osserva come il valore stimato in corrispondenza di V1 è pari a $2,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi risulta essere inferiore al limite annuo per la protezione della vegetazione di $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 1 relativa alle concentrazioni medie annue di NOx ottenute mediante la simulazione modellistica.

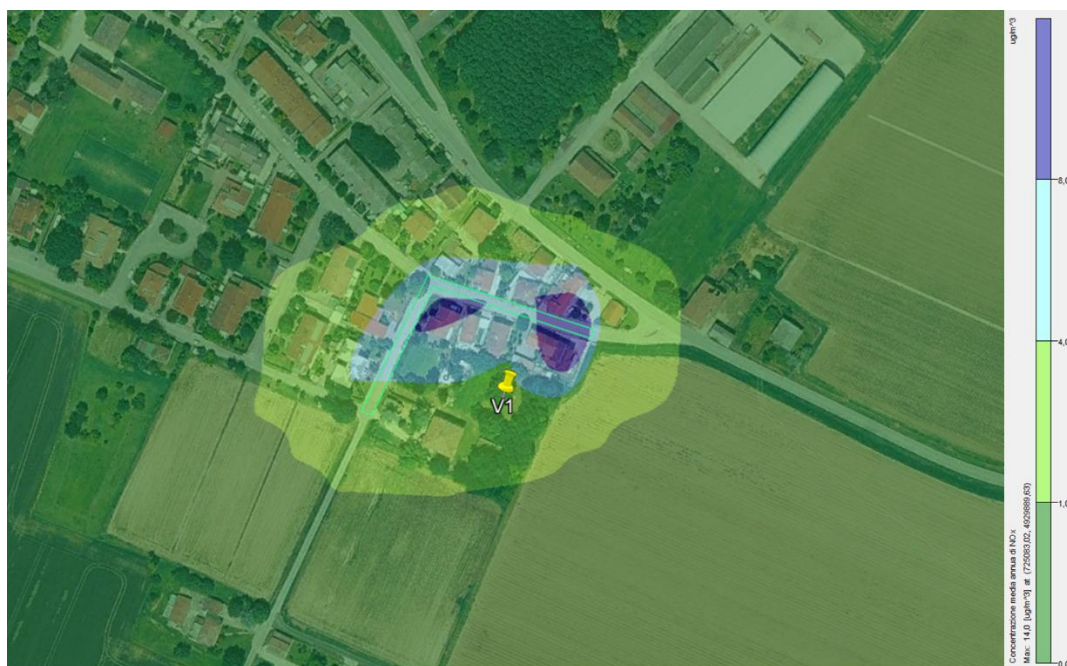


Figura 4-18 Mappa di isoconcentrazione della media annua di NOx – Scenario 1

4.4.2 Scenario 2

4.4.2.1 PM10

Concentrazioni medie annue di PM10

Per quanto riguarda i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali, in termini di media annua di PM10, questi sono riportati nella seguente tabella.

Recettore	Concentrazione media annua di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di PM10 registrata dalla centralina di riferimento – 2025 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
R7	0,084	20,38	20,464	40
R8	0,005		20,385	
R9	0,003		20,383	
R10	0,004		20,384	
R11	0,060		20,440	
R12	0,041		20,421	
R13	0,024		20,404	
R14	0,009		20,389	
R15	0,004		20,384	
R16	0,003		20,383	
R17	0,014		20,394	
R18	0,008		20,388	

Tabella 28 Concentrazione media annua di PM10 – Scenario 2

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R7 ed è pari a $0,084 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite annuo per la protezione della salute umana di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 2 relativa alle concentrazioni medie annue di PM10 ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-19 Mappa di isoconcentrazione della media annua di PM10 – Scenario 2

Concentrazioni massime giornaliere di PM10

Nella seguente tabella sono riportati i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali in termini di concentrazioni massime giornaliere di PM10.

Recettore	Concentrazioni massime giornaliere di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di PM10 registrata dalla centralina di riferimento – 2025 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
R7	0,916	20,38	21,296	50
R8	0,156		20,536	
R9	0,081		20,461	
R10	0,057		20,437	
R11	0,751		21,131	
R12	0,466		20,846	
R13	0,356		20,736	
R14	0,093		20,473	
R15	0,182		20,562	
R16	0,043		20,423	
R17	0,164		20,544	
R18	0,111		20,491	

Tabella 29 Concentrazioni massime giornaliere di PM10 – Scenario 2

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R7 ed è pari a $0,916 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite giornaliero per la protezione della salute umana di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 2 relativa alle concentrazioni massime giornaliere di PM10 ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-20 Mappa di isoconcentrazione delle massime giornaliere di PM10 – Scenario 2

4.4.2.2 PM2,5

Concentrazioni medie annue di PM2,5

Per quanto riguarda i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali in termini di media annua di PM2,5, questi sono riportati nella seguente tabella.

Recettore	Concentrazione media annua di PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di PM2,5 registrata dalla centralina di riferimento – 2025 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
R7	0,048	12,23	12,278	25
R8	0,003		12,233	
R9	0,002		12,232	
R10	0,003		12,233	
R11	0,034		12,264	
R12	0,023		12,253	
R13	0,014		12,244	
R14	0,005		12,235	
R15	0,002		12,232	
R16	0,002		12,232	
R17	0,008		12,238	
R18	0,005		12,235	

Tabella 30 Concentrazioni medie annue di PM2,5 – Scenario 2

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R7 ed è pari a $0,048 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite annuo per la protezione della salute umana di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 2 relativa alle concentrazioni medie annue di PM2,5 ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-21 Mappa di isoconcentrazione della media annua di PM_{2,5} – Scenario 2

4.4.2.3 NO₂

Concentrazioni medie annue di NO₂

Si ricorda che i fattori di emissione esistenti sono relativi all'NO_x; pertanto, le simulazioni effettuate sono relative a tale inquinante.

Essendo il limite normativo riguardante la salute umana relativo all'NO₂, nella seguente tabella sono riportati, presso i recettori residenziali, i valori dell'NO_x trasformati in NO₂ utilizzando le equazioni descritte nel paragrafo 3.1.1.

Nella seguente tabella sono quindi riportati i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali in termini di concentrazione media annua di NO₂.

Recettore	Concentrazione media annua di NO₂ (µg/m³)	Media annua di NO₂ registrata dalla centralina di riferimento – 2025 (µg/m³)	Qualità dell'aria complessiva (µg/m³)	Limite normativo (µg/m³)
R7	1,51	9,69	11,20	40
R8	0,11		9,80	
R9	0,06		9,75	
R10	0,10		9,79	
R11	1,49		11,18	
R12	1,00		10,69	
R13	0,58		10,27	
R14	0,20		9,89	
R15	0,09		9,78	
R16	0,07		9,76	
R17	0,35		10,04	
R18	0,20		9,89	

Tabella 31 Concentrazioni medie annue di NO₂ – Scenario 2

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R7 ed è pari a 1,51 µg/m³, quindi, risulta essere nettamente inferiore al limite annuo per la protezione della salute umana di 40 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 2 relativa alle concentrazioni medie annue di NOx ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-22 Mappa di isoconcentrazione della media annua di NOx – Scenario 2

Concentrazioni massime orarie di NO₂

Nella seguente tabella sono riportati i risultati emersi in corrispondenza dei recettori residenziali in termini di concentrazioni massime orarie di NO₂.

Recettore	Concentrazione oraria di NO₂ (µg/m³)	Media annua di NO₂ registrata dalla centralina di riferimento – 2025 (µg/m³)	Qualità dell'aria complessiva (µg/m³)	Limite normativo (µg/m³)
R7	60,73	9,69	70,42	200
R8	32,61		42,30	
R9	28,52		38,21	
R10	24,08		33,77	
R11	64,28		73,97	
R12	42,94		52,63	
R13	43,37		53,06	
R14	28,94		38,63	
R15	34,37		44,06	
R16	18,81		28,50	
R17	33,03		42,72	
R18	29,84		39,53	

Tabella 32 Concentrazioni massime orarie di NO₂ – Scenario 2

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di R11 ed è pari a 64,28 µg/m³, quindi, risulta essere inferiore al limite orario per la protezione della salute umana di 200 µg/m³, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 2 relativa alle concentrazioni massime orarie di NO_x ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-23 Mappa di isoconcentrazione delle massime orarie di NOx – Scenario 2

4.4.2.4 NOx

Concentrazioni medie annue di NOx

Per quanto riguarda i risultati emersi in corrispondenza dei recettori vegetazionali considerati, in termini di media annua di NOx, questi sono riportati nella seguente tabella.

Recettore	Concentrazione media annua di NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua di NOx registrata dalla centralina di riferimento – 2025 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualità dell'aria complessiva ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite normativo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
V2	0,309	12,25	12,559	30
V3	0,124		12,374	

Tabella 33 Concentrazioni medie annue di NOx – Scenario 2

Si osserva come il valore di concentrazione maggiore si trova in corrispondenza di V2 ed è pari a $0,309 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi, risulta essere inferiore al limite annuo per la protezione della vegetazione di $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche considerando il valore di fondo della centralina di riferimento.

Di seguito si riporta la mappa di isoconcentrazione per lo Scenario 2 relativa alle concentrazioni medie annue di NOx ottenute mediante la simulazione modellistica.



Figura 4-24 Mappa di isoconcentrazione della media annua di NOx – Scenario 2

In conclusione, dall'osservazione dei risultati ottenuti dalle simulazioni modellistiche effettuate nel presente studio si può affermare che le concentrazioni stimate per la fase di cantiere del progetto in esame risultano sempre al di sotto dei limiti normativi.

5 CONCLUSIONI

Lo studio atmosferico legata alla cantierizzazione per la realizzazione del progetto denominato "Impianto agrivoltaico avanzato, denominato Fossatone" è stata effettuata individuando due scenari di simulazione, di seguito riassunti:

- Scenario 1: costituito da un'area di cantiere relativa al cantiere mobile per la realizzazione del cavidotto;
- Scenario 2: in cui sono state considerate come sorgenti emissive le aree di lavorazione (AL) per la realizzazione del progetto.

L'analisi modellistica ha avuto come obiettivo, per ciascuno scenario di simulazione, l'individuazione di un set di ricettori ritenuti rappresentativi per la valutazione della salute umana (ricettori R) e della vegetazione (ricettori V), sui quali sono stati stimati i valori di concentrazione legati ai principali inquinanti oggetto di valutazione ambientale, ai sensi del D.Lgs. 155/2010.

Nel complesso, l'analisi modellistica ha evidenziato per tutti i ricettori indagati un pieno rispetto dei limiti normativi, non facendo emergere di conseguenza condizioni di criticità ambientale legati all'attività di cantiere per la componente atmosfera.

Di seguito si riporta, per ciascuno scenario e inquinante oggetto di analisi, uno schema riassuntivo tabellare in cui sono riportati i valori di concentrazione stimati sui ricettori puntuali indagati.

Scenario 1 – Analisi dei ricettori rappresentativi per la salvaguardia della umana

Recettore	PM ₁₀ media annua				PM ₁₀ massimo giornaliero (ug/m ³)				PM _{2,5} media annua (ug/m ³)				NO ₂ media annua (ug/m ³)				NO ₂ massimo orario (ug/m ³)			
	Media annua	Valore di fondo	Totale	Limite normativo	Massimo giornaliero	Valore di fondo	Totale	Limite normativo	Media annua	Valore di fondo	Totale	Limite normativo	Media annua	Valore di fondo	Totale	Limite normativo	Massimo orario	Valore di fondo	Totale	Limite normativo
R1	0,77	20,38	21,15	40	6,66	20,38	27.04	50	0,46	12,23	12,69	25	1,97	9,69	11,66	40	57,25	20,38	66,94	200
R2	1,66		22,04		9,24		29.62		0,98		13,21		4,14		13,83		61,81		71,50	
R3	3,66		24,04		18,50		38.88		2,16		14,39		8,78		18,47		69,00		78,69	
R4	2,58		22,96		13,34		33.72		1,52		13,75		6,33		16,02		65,54		75,23	
R5	1,06		21,44		9,31		29.69		0,62		12,85		2,68		12,37		54,82		64,51	
R6	0,50		20,88		3,78		24.16		0,29		12,52		1,27		10,96		45,86		55,55	

Tabella 34 Quadro riassuntivo delle concentrazioni stimate sui ricettori per la tutela della salute umana – Scenario 1

Scenario 2 – Analisi dei ricettori rappresentativi per la salvaguardia della salute umana

Recettore	PM ₁₀ media annua				PM ₁₀ massimo giornaliero (ug/m ³)				PM _{2,5} media annua (ug/m ³)				NO ₂ media annua (ug/m ³)				NO ₂ massimo orario (ug/m ³)			
	Media annua	Valore di fondo	Totale	Limite normativo	Massimo giornaliero	Valore di fondo	Totale	Limite normativo	Media annua	Valore di fondo	Totale	Limite normativo	Media annua	Valore di fondo	Totale	Limite normativo	Massimo orario	Valore di fondo	Totale	Limite normativo
R7	0,084	20,38	20,464	40	0,916	20,38	21,296	50	0,048	12,278	12,278	25	1,51	9,69	11,20	40	60,73	9,69	70,42	200
R8	0,005		20,385		0,156		20,536		0,003		12,233		0,11		9,80		32,61		42,30	
R9	0,003		20,383		0,081		20,461		0,002		12,232		0,06		9,75		28,52		38,21	
R10	0,004		20,384		0,057		20,437		0,003		12,233		0,10		9,79		24,08		33,77	
R11	0,060		20,440		0,751		21,131		0,034		12,264		1,49		11,18		64,28		73,97	
R12	0,041		20,421		0,466		20,846		0,023		12,253		1,00		10,69		42,94		52,63	
R13	0,024		20,404		0,356		20,736		0,014		12,244		0,58		10,27		43,37		53,06	
R14	0,009		20,389		0,093		20,473		0,005		12,235		0,20		9,89		28,94		38,63	
R15	0,004		20,384		0,182		20,562		0,002		12,232		0,09		9,78		34,37		44,06	
R16	0,003		20,383		0,043		20,423		0,002		12,232		0,07		9,76		18,81		28,50	
R17	0,014		20,394		0,164		20,544		0,008		12,238		0,35		10,04		33,03		42,72	

Tabella 35 Quadro riassuntivo delle concentrazioni stimate sui ricettori per la tutela della salute umana – Scenario 2

Scenario 1 – Analisi dei ricettori rappresentativi per la salvaguardia della vegetazione

Recettore	NOx media annua (ug/m³)			
	Media annua	Valore di fondo	Totale	Limite normativo
V1	2,18	12,25	14,43	30

Tabella 36 Quadro riassuntivo delle concentrazioni stimate sui ricettori per la tutela della vegetazione – Scenario 1

Scenario 2 – Analisi dei ricettori rappresentativi per la salvaguardia della vegetazione

Recettore	NOx media annua (ug/m³)			
	Media annua	Valore di fondo	Totale	Limite normativo
V2	0,309	12,25	12,559	30
V3	0,124		12,374	

Tabella 37 Quadro riassuntivo delle concentrazioni stimate sui ricettori per la tutela della vegetazione – Scenario 2