

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest – "Declassata di Prato"
Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

COD. FI463

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI		MANDATARIA: 		MANDANTI:  	
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Andrea Renso – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413			IL PROGETTISTA: GRUPPO DI PROGETTAZIONE: COORDINAMENTO PROGETTAZIONE, PROGETTAZIONE STRADALE, GEOTECNICA ED OPERE IN SOTTERRANEO: Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723		
IL GEOLOGO: Geol. Pietro Accolti Gil – POLITECNICA Ordine Geologi Regione Toscana n° 728			STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: Arch. Paola Gabrielli – POLITECNICA ordine Architetti Provincia di Bologna n. 2921		
IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723			CANTIERIZZAZIONE E FASI ESECUTIVE: Ing. Alessio Gori – POLITECNICA ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5969		
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO: Ing. Raffaele Franco Carso			IDROLOGIA ED IDRAULICA: Ing. Alessandro Cecchelli – POLITECNICA ordine ingegneri Provincia di Grosseto n.760		
PROTOCOLLO:		DATA:		COLLABORATORI DI PROGETTO: Ing. Massimo Palermo – POLITECNICA Arch. Valentina Iaia – POLITECNICA Geom. Franco Mariotti – POLITECNICA Geom. Angela Pantiferi – POLITECNICA	

04 – ANALISI DEGLI IMPATTI
04.1 – Atmosfera
Relazione

CODICE PROGETTO		NOME FILE		PROGR. ELAB.	REV.	SCALA:
PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. D P F I 1 0 D 1 9 0 1		04.02_P00_IA31_AMB_RE01_B		04.02		
		CODICE ELAB. P 0 0 I A 3 1 A M B R E 0 1			B	-
D						
C						
B	Revisione a seguito di istruttoria Anas	03/2020	POLITECNICA	P.GABRIELLI	M.MANCONE	A.RENSO
A	EMISSIONE	12/2019	POLITECNICA	P.GABRIELLI	M.MANCONE	A.RENSO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	PREMESSA	1
2	RIFERIMENTI LEGISLATIVI.....	3
2.1	Decreto Legislativo del 13 agosto 2010, n.155	5
3	ANALISI METEO-CLIMATICA	8
3.1	Aspetti generali	8
3.2	Il dato storico: andamento 2010-2018.....	8
3.2.1	Fonte e stazione meteorologica di riferimento	8
3.2.2	Regime termico	8
3.2.3	Regime pluviometrico	11
3.2.4	Regime anemometrico.....	12
3.3	Il dato meteorologico attuale: 2018.....	12
3.3.1	Regime termico	12
3.3.2	Regime pluviometrico	13
3.3.3	Regime anemometrico.....	13
3.4	Il confronto tra il dato storico e l'anno di riferimento delle simulazioni	15
3.4.1	Parametri di confronto.....	15
3.4.2	Regime termico	15
3.4.3	Regime anemometrico.....	17
3.4.4	Conclusioni.....	18
4	ANALISI DELLA QUALITA' DELL'ARIA.....	19
4.1	Piano di risanamento della qualità dell'aria e zonizzazione.....	19
4.2	Monitoraggio della qualità dell'aria	20
4.3	Particolato	21
4.3.1	PM 10	22
4.3.2	PM 2.5	23
4.4	Ossidi di azoto: NOx	24
4.4.1	Biossidi di azoto: NO2	24
4.5	Monossido di carbonio e Benzene	26

4.5.1	Monossido di Carbonio: CO	27
4.5.2	Benzene: C ₆ H ₆	28
5	I MODELLI DI SIMULAZIONE UTILIZZATI	30
5.1	Copert 5.....	30
5.2	Aermod view	31
6	LO SCENARIO DI ESERCIZIO ATTUALE: ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI	35
6.1	Aermod View: gli input territoriali	35
6.1.1	Gli input orografici	35
6.1.2	Gli input meteorologici	35
6.2	Aermod View: gli input progettuali.....	37
6.2.1	L'infrastruttura attuale.....	37
6.2.2	Metodologia di analisi per il calcolo dei fattori di emissione.....	38
6.2.3	Composizione del parco veicolare circolante.....	38
6.2.4	Volumi e velocità del traffico circolante	40
6.2.5	I fattori di emissione	41
6.3	I dati di output delle simulazioni.....	42
7	LO SCENARIO DI ESERCIZIO DI PROGETTO: ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI	44
7.1	Aermod View: gli input territoriali	44
7.1.1	Gli input orografici	44
7.1.2	Gli input meteorologici	44
7.2	Aermod view: Gli input progettuali.....	44
7.2.1	L'infrastruttura di progetto	44
7.2.2	Metodologia di analisi per il calcolo dei fattori di emissione.....	45
7.2.3	Composizione del parco veicolare circolante.....	45
7.2.4	Volumi e velocità del traffico circolante	46
7.2.5	I fattori di emissione	46
7.3	I dati di output delle simulazioni.....	47
8	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO	48
9	LE INTERFERENZE IN FASE DI CANTIERE	51
9.1	Gli input territoriali	51
9.1.1	I dati orografici	51
9.1.2	I dati meteorologici	51
9.2	Gli input progettuali	51

9.2.1	La metodologia del worst case scenario	51
9.2.2	La definizione delle sorgenti emissive di cantiere.....	51
9.2.3	Il traffico di cantiere	53
9.3	La metodologia di riferimento	54
9.4	I fattori di emissione	54
9.4.1	I fattori di emissione relativi alla fase di demolizione e scavo	55
9.4.2	I fattori di emissione relativi al carico sul Fronte Avanzamento Lavori	56
9.4.3	I fattori di emissione relativi al trasporto su strada non pavimentato sul Fronte Avanzamento Lavori	57
9.4.4	I fattori di emissione relativi al carico e scarico del materiale nel cantiere operativo.....	58
9.4.5	I fattori di emissione relativi all'erosione del vento sui cumuli nel cantiere operativo	58
9.4.6	I fattori di emissione relativi al trasporto su strada non pavimentato nel cantiere operativo	61
9.5	I fattori di emissione medi calcolati per le sorgenti	61
9.6	Il ricettore di riferimento	61
9.7	I dati di output delle simulazioni	62
9.8	Best practice per il cantiere	63
9.8.1	Misure di contenimento delle polveri nella fase di transito su strada non pavimentata	63
9.9	I dati di output delle simulazioni con mitigazioni.....	65

1 PREMESSA

Il presente capitolo è volto ad analizzare tutti gli aspetti relativi alla componente atmosfera, durante la realizzazione dell'opera e durante l'esercizio dell'interramento del tratto stradale di Viale Leonardo da Vinci, da Via Marx a Via Nenni, in Prato .

Nello specifico le fasi che hanno caratterizzato tale studio sono le seguenti:

- analisi meteo-climatica;
- analisi della qualità dell'aria;
- scelta dei modelli di simulazione per la determinazione delle emissioni e delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera;
- determinazione delle emissioni e delle concentrazioni allo scenario di esercizio ante operam;
- determinazione delle emissioni e delle concentrazioni allo scenario di esercizio post operam (2025);
- analisi delle interferenze in fase di cantiere.

Il processo logico operativo dell'analisi della componente atmosfera ha pertanto riguardato, in primis, l'analisi meteo-climatica partendo dal dato storico elaborato a partire dalla centralina di Prato Università, considerando l'arco temporale dal 2010 al 2018. Tale analisi ha permesso di caratterizzare il regime termico, pluviometrico e anemometrico con l'obiettivo di avere un quadro meteorologico storico di riferimento.

Medesimo studio è stato svolto con i dati meteo-climatici utilizzati per le simulazioni previsionali, relativi all'anno 2018, prendendo come riferimento la stessa centralina di rilevamento, rappresentativa delle condizioni climatiche circostanti, che nel caso in esame corrisponde alla centralina di Prato Università.

Dal confronto di queste due analisi meteo-climatiche è stato possibile valutare la bontà del dato meteo utilizzato per le simulazioni, al fine di escludere la possibilità che il 2018 fosse un *outliers*.

Dopo aver definito lo stato meteo-climatico dell'area, si è proceduto a simulare gli scenari caratterizzanti l'esercizio dell'opera in esame. Il calcolo è stato eseguito con due orizzonti progettuali e temporali:

- stato attuale (anno di riferimento 2018)
- stato di progetto (anno di riferimento 2025)

La simulazione è avvenuta mediante il software AERMOD View, in concomitanza con AERMET View per gli input meteorologici, mentre per la valutazione dei fattori di emissione medi ci si è avvalsi del software COPERT 5.

Il flusso veicolare che transita su una strada è causa dell'emissione in atmosfera di sostanze inquinanti. La quantità di inquinante emesso dipende direttamente dall'intensità del traffico e dalla tipologia di veicolo; il

destino delle sostanze inquinanti dipende dalle caratteristiche meteo degli strati più bassi dell'atmosfera, dove si realizza la diluizione degli inquinanti emessi.

Lo studio relativo all'emissione e propagazione degli inquinanti è finalizzato a verificare i valori dei livelli di inquinamento indotti nelle zone abitate adiacenti all' infrastruttura stradale.

In particolare lo studio si propone di analizzare l'impatto del traffico stradale sulla componente atmosferica e di definire le variazioni di emissioni inquinanti tra lo stato attuale e lo scenario di progetto. Nello specifico, gli inquinanti oggetto di studio sono:

- NO_x
- NO₂
- CO
- C₆H₆
- PM 10
- PM 2,5

Per quanto riguarda la simulazione della fase di cantiere, è stata effettuata l'analisi sulle concentrazioni di PM10 e PM2.5 prodotte dallo scenario di cantiere ritenuto più critico in termini di dispersione di polveri in atmosfera. Per tale analisi è stato utilizzato sempre il modello di calcolo Aermod View, attraverso il quale è stato possibile stimare i livelli di concentrazione del particolato, generati dalle principali attività di cantiere legate alla movimentazione della terra, caratterizzate dalla demolizione e sbancamento dell'asse stradale, dal carico e scarico del materiale scavato, nonché dalla presenza stessa dei cumuli di materiale nell'area di stoccaggio.

Nel proseguo della trattazione verranno descritte nel dettaglio le simulazioni condotte, nonché i risultati delle stesse, opportunamente elaborati.

Per una migliore comprensione del presente documento si faccia riferimento agli specifici elaborati grafici:

04.03_P00_IA31_AMB_CT01_A	Planimetria dei ricettori e delle sorgenti emissive
04.04_P00_IA31_AMB_CT02_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NO _x - Ante-operam
04.05_P00_IA31_AMB_CT03_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - CO - Ante-operam
04.06_P00_IA31_AMB_CT04_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - Benzene - Ante-operam
04.07_P00_IA31_AMB_CT05_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM 10 - Ante-operam
04.08_P00_IA31_AMB_CT06_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM 2.5 - Ante-operam
04.09_P00_IA31_AMB_CT07_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NO _x - Post-operam
04.10_P00_IA31_AMB_CT08_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - CO - Post-operam
04.11_P00_IA31_AMB_CT09_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - Benzene - Post-operam
04.12_P00_IA31_AMB_CT10_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM10 - Post-operam
04.13_P00_IA31_AMB_CT11_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM 2.5 - Post-operam
04.14_P00_IA31_AMB_CT12_A	Fase di cantiere - Scenario critico - Mappa delle concentrazioni di inquinanti - PM 10
04.15_P00_IA31_AMB_CT13_A	Fase di cantiere - Scenario critico - Mappa delle concentrazioni di inquinanti - PM 2.5
04.46_P00_IA31_AMB_CT14_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NO ₂ - Ante-operam
04.47_P00_IA31_AMB_CT15_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NO ₂ - Post-operam

2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI

L'Unione Europea negli anni ha emanato una serie di direttive al fine di controllare il livello di alcuni inquinanti in aria. In particolare, si evidenziano le seguenti Direttive:

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

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

- Il D. Lgs. 351 del 4 agosto 1999 recepisce la direttiva 96/62/CE e costituisce quindi il riferimento “quadro” per l’attuale legislazione italiana;
- Il D.M. 60 del 2 aprile 2002 è la norma che recepisce la prima e la seconda direttiva figlia; definisce, infatti, per gli inquinanti di cui al gruppo I del D.Lgs. 351/1999 con l’aggiunta di benzene e monossido di carbonio (CO); i valori limite e le soglie di allarme, il margine di tolleranza, il termine entro il quale il limite deve essere raggiunto, i criteri per la raccolta dei dati di qualità dell’aria compreso il numero di punti di campionamento, i metodi di riferimento per le modalità di prelievo e di analisi;
- Il D.M. 261 dell’1 ottobre 2002 individua le modalità di valutazione preliminare della qualità dell’aria lì dove mancano i dati e i criteri per l’elaborazione di piani e programmi per il raggiungimento dei limiti previsti nei tempi indicati dal D.M. 60/2002;
- Il D. Lgs. 183 del 21 maggio 2004, recepisce la direttiva europea 02/03/CE riguardante l’ozono in atmosfera (terza direttiva figlia), in particolare indica “valori bersaglio” da raggiungere entro il 2010, demanda a Regioni e Province autonome la definizione di zone e agglomerati in cui la concentrazione di ozono superi il valore bersaglio; per tali zone dovranno essere adottati piani e programmi per il raggiungimento dei valori bersaglio. Piani e programmi dovranno essere redatti sulla base delle indicazioni del Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare. La normativa riporta anche valori a lungo termine (al di sotto dei quali non ci si attende alcun effetto sulla salute), soglie di informazione (valori al di sopra dei quali possono esserci rischi per gruppi sensibili) e soglie di allarme (concentrazioni che possono determinare effetti anche per esposizioni a breve termine);
- Il D. Lgs. 171 del 21 maggio 2004, recepisce la direttiva europea 2001/81/CE, riguardante i limiti massimi per le emissioni annue degli Stati membri, individua gli strumenti per assicurare che le emissioni nazionali annue per il biossido di zolfo, per gli ossidi di azoto, per i composti volatili e per l’ammoniaca, rispettino entro il 2010 e negli anni successivi i limiti nazionali di emissione;
- Il D.Lgs. 152/2007 (che recepisce la direttiva 2004/107/CE) è l’ultima norma figlia emanata e si riferisce ad un gruppo di inquinanti (l’arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)), per cui non è ancora possibile una misura in continuo e che si trovano prevalentemente all’interno del particolato sottile. Anche in questo caso vengono stabiliti i limiti di qualità dell’aria, le modalità di misura e le informazioni da fornire al pubblico.

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

2.1 Decreto Legislativo del 13 agosto 2010, n.155

Il DLgs 155/2010 costituisce l'attuazione della direttiva comunitaria 2008/50/CE circa la valutazione della qualità dell'aria ambiente, la sua gestione, nonché il suo miglioramento. Quest' unica norma sostituisce sia la legge quadro (DL 351/99) sia i decreti attuativi (che fornivano modalità di misura, indicazioni sul numero e sulla collocazione delle postazioni di monitoraggio, limiti e valori di riferimento per i diversi inquinanti) ribadendo i fondamenti del controllo dell'inquinamento atmosferico e i criteri di monitoraggio e introducendo, in base alle nuove evidenze epidemiologiche, tra gli inquinanti da monitorare anche il PM2.5, ormai ben noto per la sua pericolosità.

Il Decreto stabilisce per le sostanze inquinanti i seguenti criteri:

- i valori limite, vale a dire le concentrazioni atmosferiche fissate in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana e sull'ambiente;
- le soglie di allarme, ossia la concentrazione atmosferica oltre la quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e per cui si deve immediatamente intervenire;
- il margine di tolleranza, cioè la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato e le modalità secondo le quali tale margine deve essere ridotto nel tempo;
- il termine entro il quale il valore limite deve essere raggiunto;
- la soglia di valutazione superiore vale a dire la concentrazione atmosferica al di sotto della quale le misurazioni possono essere combinate con le tecniche di modellazione;
- la soglia di valutazione inferiore, ossia una concentrazione atmosferica al di sotto della quale è consentito ricorrere soltanto alle tecniche di modellazione o di stima oggettiva;
- i periodi di media, cioè il periodo di tempo durante il quale i dati raccolti sono utilizzati per calcolare il valore riportato.

Nell'allegato XI al decreto, vengono riportati i valori limite, i livelli critici, le soglie di allarme e di informazione e i valori obiettivo degli inquinanti normati.

Tale decreto ha subito delle leggere modifiche in base al nuovo Decreto Legislativo 24 dicembre 2012, n. 250 "Modifiche ed integrazioni al Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155, recante attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" (G.U: n. 23 del 28.01.2013), entrato in vigore il 12 febbraio 2013.

Nella seguente tabella si riportano i limiti per le concentrazioni degli inquinanti presi a riferimento per stabilire la qualità dell'aria su territorio nazionale sopra accennati:

Inquinante	Indicatore Normativo	Periodo di mediazione	Valore stabilito	Margine tolleranza	n° sup. consentiti
Biossido di Zolfo SO2	Valore limite protezione salute umana	1 ora	350 µg/m3	-	24
	Valore limite protezione salute umana	24 ore	125 µg/m3	-	3
	Soglia di allarme	3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 kmq	500 µg/m3	-	-
	Livelli critici per la vegetazione	anno civile e inverno	20 µg/m3	-	-
Biossido di azoto NO2	Valore limite protezione salute umana	1 ora	200 µg/m3	-	18
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	40 µg/m3	-	-
	Soglia di allarme	3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 kmq	400 µg/m3	-	-
Ossidi di azoto NOx	Livelli critici per la vegetazione	anno civile	30 µg/m3	-	-
Particolato PM10	Valore limite protezione salute umana	24 ore	50 µg/m3	-	35
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	40 µg/m3	-	-
Particolato fine PM2.5	Valore limite protezione salute umana	anno civile	25 µg/m3	-	-
Piombo	Valore limite protezione salute umana	anno civile	0,5 µg/m3	-	-
Benzene	Valore limite protezione salute umana	anno civile	5 µg/m3	-	-
Monossido di carbonio	Valore limite protezione salute umana	massima media su 8h consecutive	10 mg/m3	-	-
Arsenico	Valore obiettivo	anno civile	6 ng/m3	-	-
Cadmio	Valore obiettivo	anno civile	5 ng/m3	-	-
Nichel	Valore obiettivo	anno civile	20 ng/m3	-	-
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	anno civile	1 ng/m3	-	-

Tabella 1 Valori limite, livelli critici, valori obiettivo, soglie di allarme per la protezione della salute umana per inquinanti diversi dall'ozono (Fonte: Allegati XI e XIII D. Lgs. 155/2010)

Il Decreto attribuisce alle Regioni e alle Province autonome la competenza da adottare, a seguito della valutazione della qualità dell'aria, specifici piani nel caso del superamento dei valori limite con interventi di

riduzione delle emissioni inquinanti per il raggiungimento di tali valori entro i termini previsti e misure per il perseguimento dei valori obiettivo e per il mantenimento della qualità dell'aria nonché piani per la riduzione del rischio di superamento dei valori limite, dei valori obiettivo e delle soglie di allarme.

3 ANALISI METEO-CLIMATICA

3.1 Aspetti generali

Uno degli aspetti fondamentali per l'analisi della componente in esame, riguarda l'aspetto meteorologico dell'area di studio. Tale analisi è strutturata in 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 paragrafi principali: "il dato storico" che descrive l'analisi nell'arco temporale di riferimento 2010-2018 e l'analisi dei "dati di simulazione" corrispondenti allo stato attuale per il quale è stato preso a riferimento l'anno 2018.

3.2 Il dato storico: andamento 2010-2018

3.2.1 Fonte e stazione meteorologica di riferimento

Per la caratterizzazione meteorologica dell'area in esame sono stati acquisiti i dati meteorologici disponibili sul sito del Centro Funzionale Regionale di monitoraggio Meteo-Idrologico, SIR (Settore Idrologico Regionale), per gli anni 2010-2018.

Nei paragrafi successivi verranno analizzati separatamente diversi indicatori climatici appartenenti a tre categorie: Temperature, Precipitazioni e Venti.

Per il rilevamento dei dati meteorologici, necessari per condurre le simulazioni modellistiche, è stata scelta la stazione meteo più vicina all'area oggetto di studio e per la quale erano disponibili i dati necessari alle analisi. Si tratta, pertanto, della stazione meteorologica di Prato Università (LAT 43.886 LON 11.099).

3.2.2 Regime termico

Il primo aspetto analizzato nella trattazione del dato storico riguarda il regime termico. La *Tabella 2* riporta i dati principali circa le temperature dal 2010 al 2018.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
T. max. media (°C)	10.33	11.26	15.71	20.87	24.02	29.14	32.23	32.28	26.93	21.43	15.59	11.11
T. media (°C)	7.23	7.99	11.54	15.71	18.80	23.35	26.10	26.06	21.82	17.25	12.41	7.88
T. min. media (°C)	4.13	4.73	7.37	10.55	13.58	17.57	19.98	19.85	16.71	13.08	9.23	4.65
T. max. assoluta (°C)	17.1	19.5	26.3	31.7	33.1	37.2	38.7	40.8	34.5	22.3	22.3	18.8
T. min. assoluta (°C)	-3.1	-5.1	-1.5	2.5	7.8	11.2	14.1	12.1	9.6	2.2	0.3	-5.7

Tabella 2 Regime Termico

Con riferimento alla Temperatura Media registrata è possibile notare come le temperature siano comprese tra 7.23 °C e 26.10 °C, rispettivamente registrate nei mesi di gennaio e di luglio.

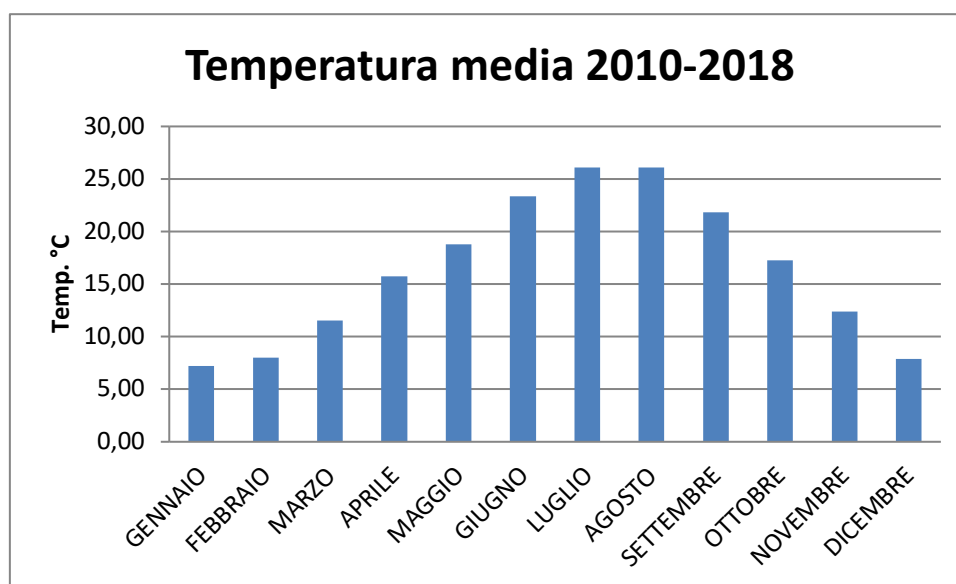


Figura 1 Temperatura media

Analizzando i valori massimi e minimi medi della temperatura si osserva come il trend analizzato per la temperatura media sia individuabile anche in tali valori, evidenziando come mese con temperature massime medie più elevate il mese di agosto con 32.3 °C, mentre il mese con le temperature minime medie più basse risulta gennaio con 4.13 °C.

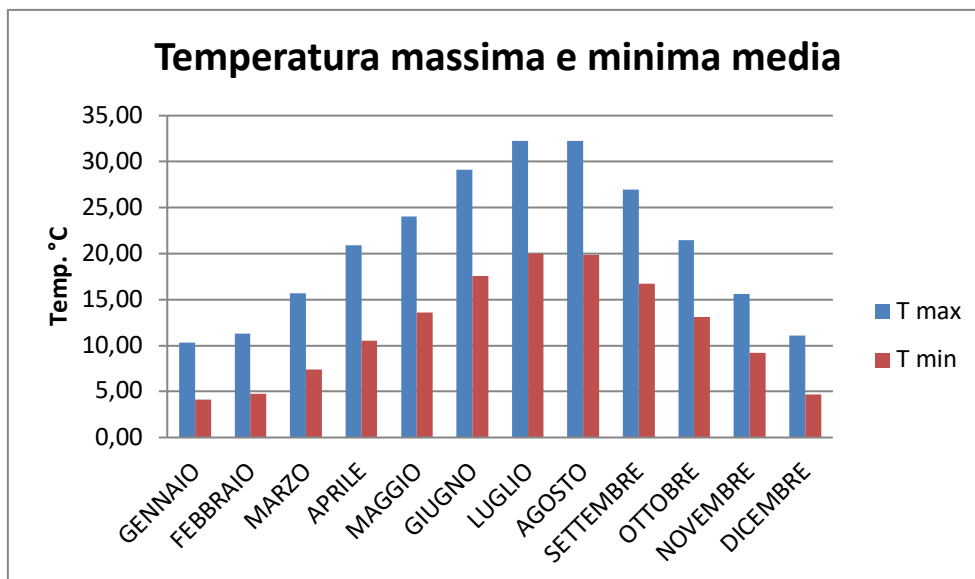


Figura 2 Temperatura massima e minima media

Altro aspetto riguarda l'analisi dei giorni in cui si sono verificati i massimi ed i minimi assoluti rispetto al periodo di riferimento. È possibile notare come, sia rispetto alle temperature massime che minime, la distribuzione negli anni, risulta essere dispersa.

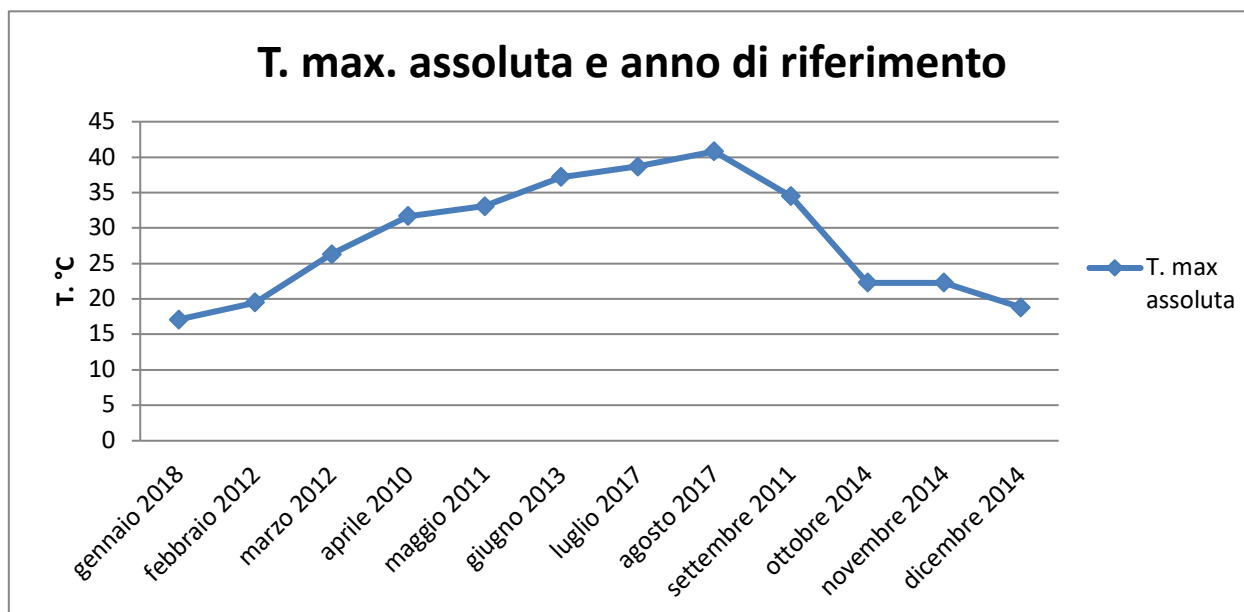


Figura 3 Temperatura massima assoluta ed anno di riferimento

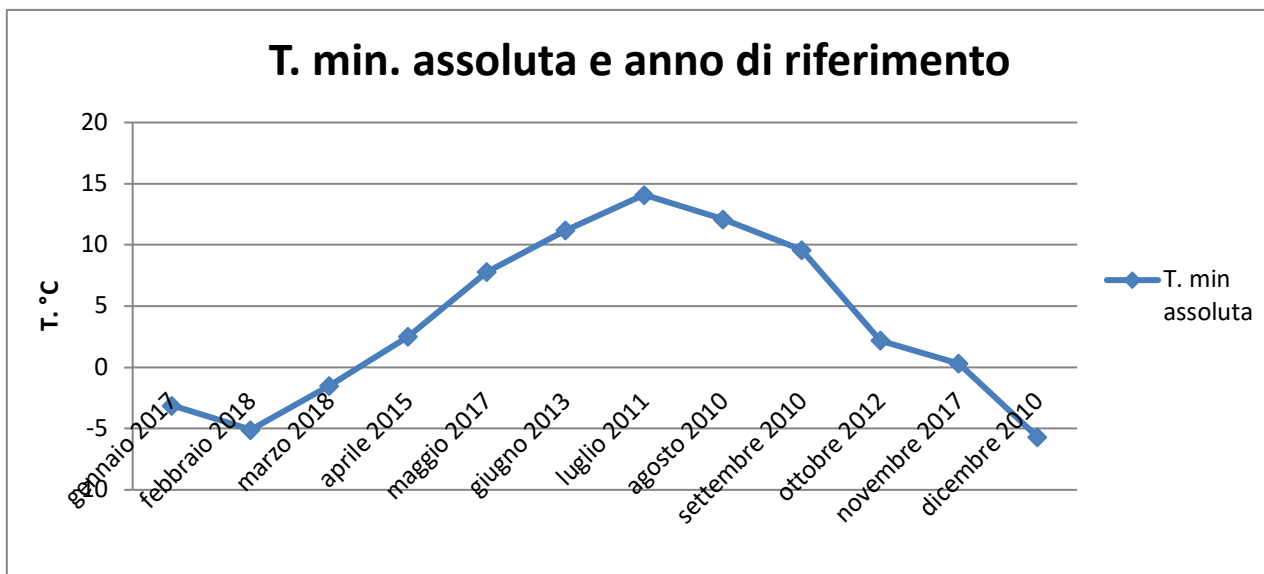


Figura 4 Temperatura minima assoluta ed anno di riferimento

3.2.3 Regime pluviometrico

Il regime pluviometrico è definito attraverso i dati registrati e riportati nella Tabella 3 e nella Figura 5.

Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
93.6	105.0	98.4	57.5	77.2	54.8	43.9	37.2	81.8	107.3	122.1	86.7

Tabella 3 Precipitazione mensile media in mm

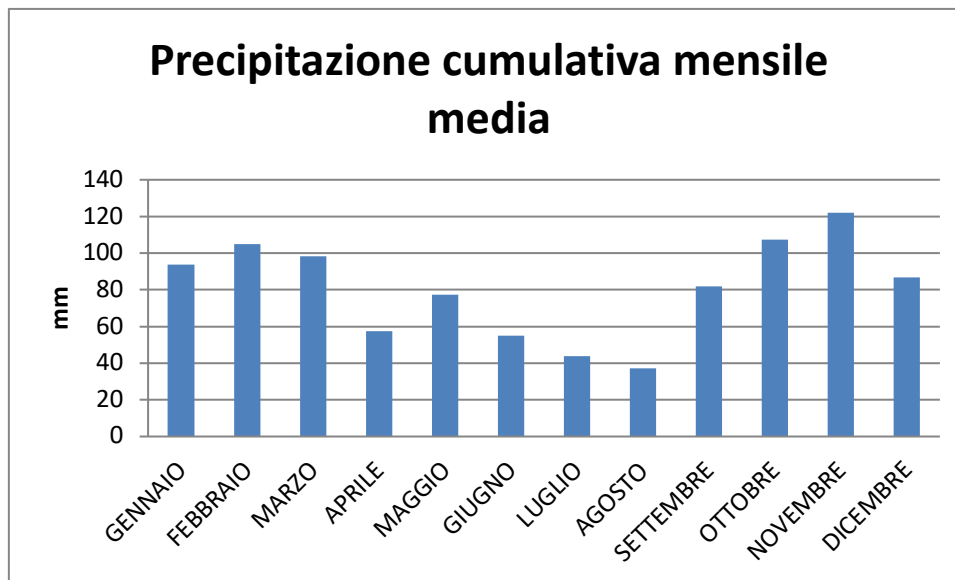


Figura 5 Precipitazione cumulativa mensile media

È possibile notare come il mese con la media mensile più elevata sia novembre con più di 122 mm di precipitazione, mentre il mese maggiormente asciutto è agosto con un valore di circa 37 mm.

3.2.4 Regime anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi al vento è possibile identificarne l'intensità espressa in m/s. I valori registrati sono sinteticamente riportati nella seguente tabella e graficati nella *Figura 6*.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
intensità (m/s)	1.25	1.62	1.65	1.52	1.53	1.58	1.64	1.55	1.33	1.31	1.22	0.96

Tabella 4 Andamento del regime anemometrico

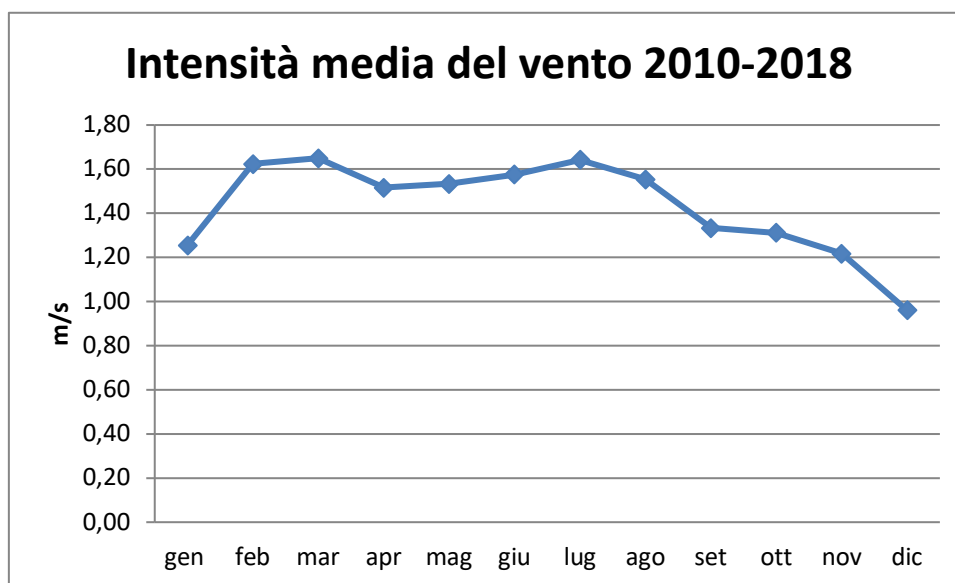


Figura 6 Andamento del regime anemometrico

È possibile notare come l'intensità media sia intorno a 1.4 m/s.

3.3 Il dato meteorologico attuale: 2018

Per la caratterizzazione meteorologica dell'area in esame sono stati acquisiti i dati meteorologici disponibili sul sito del Centro Funzionale Regionale di monitoraggio Meteo-Idrologico, SIR (Settore Idrologico Regionale), per l'anno 2018.

3.3.1 Regime termico

Per quanto riguarda le temperature nell'anno di riferimento, come visibile dalla *Figura 7* si registrano temperature maggiori nei mesi estivi di giugno, luglio e agosto, con un massimo assoluto di 38 ° C nel mese di agosto.

Nei mesi di dicembre e gennaio le temperature spesso scendono sotto gli 0 ° C, registrando un minimo assoluto pari a -5.1 C nel mese di gennaio. In generale, la media annua è pari a circa 16° C.

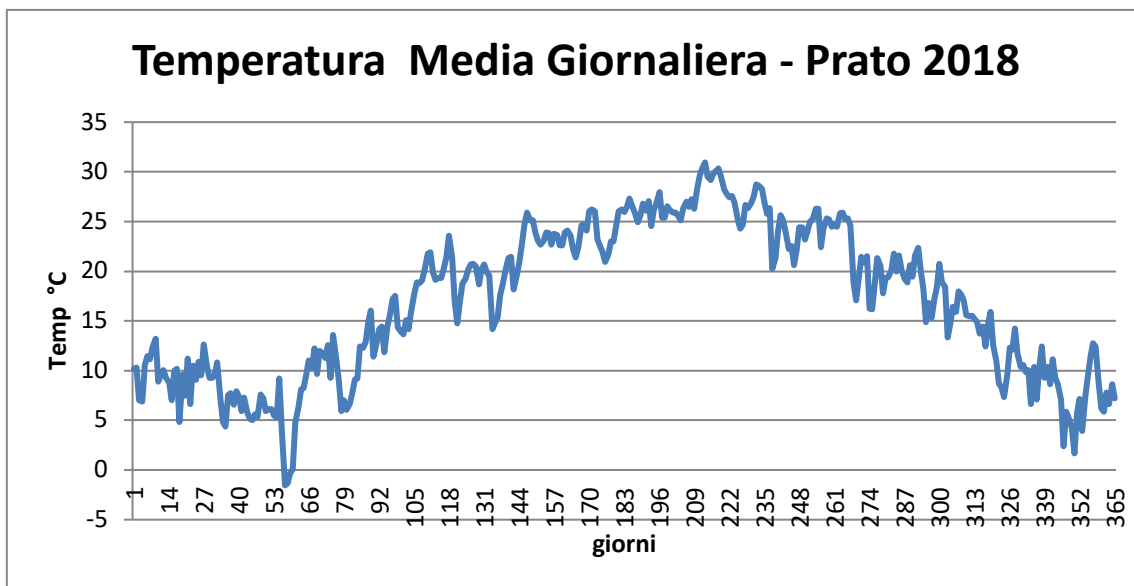


Figura 7 Temperatura media giornaliera - Prato Università

3.3.2 Regime pluviometrico

A partire dai dati giornalieri forniti dalla centralina di Prato Università, è stato calcolato l'andamento delle precipitazioni cumulate mensili per il 2018 (Figura 8).

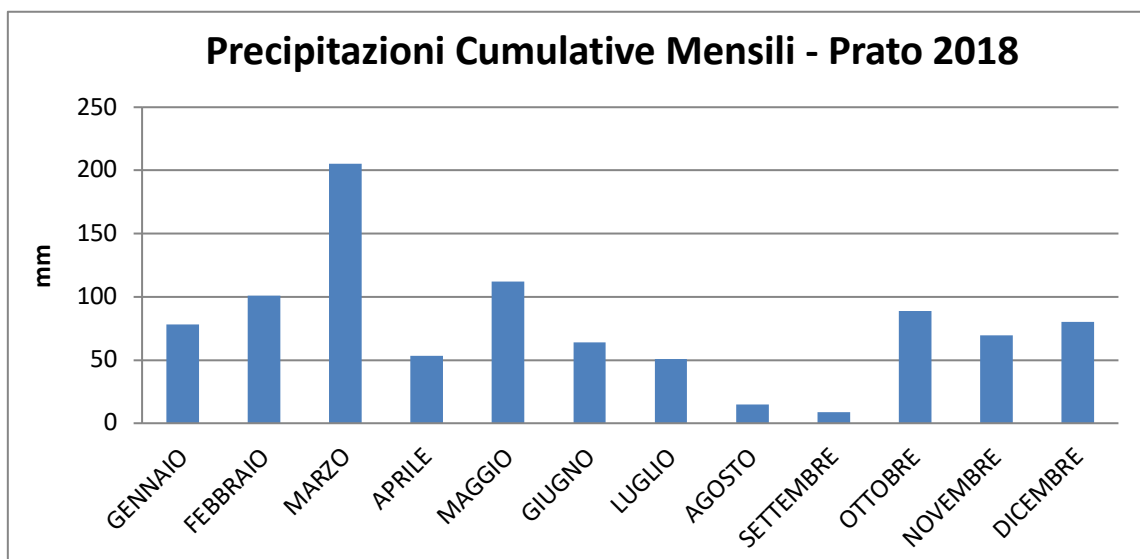


Figura 8 Precipitazioni mensili cumulate- Prato Università

3.3.3 Regime anemometrico

Il vento influisce in modo rilevante sulle dinamiche di dispersione in atmosfera: venti intensi causano l'allontanamento delle sostanze emesse dalla sorgente disperdendole rapidamente, mentre venti deboli, spesso associati a perduranti condizioni anticicloniche, favoriscono l'accumulo delle sostanze inquinanti. Inoltre, l'interazione del campo di vento con la superficie terrestre genera turbolenza di origine meccanica e

Le disomogeneità del terreno inducono lo sviluppo di dinamiche locali che si sovrappongono alla struttura generale della circolazione atmosferica influenzando in modo significativo la dispersione.

Per l'anno 2018 sono stati elaborati, con i dati forniti dalla centralina di Prato Università, i grafici della velocità media e della rosa dei venti della provincia di Prato, come mostrato di seguito nella *Figura 9* e nella *Figura 10*

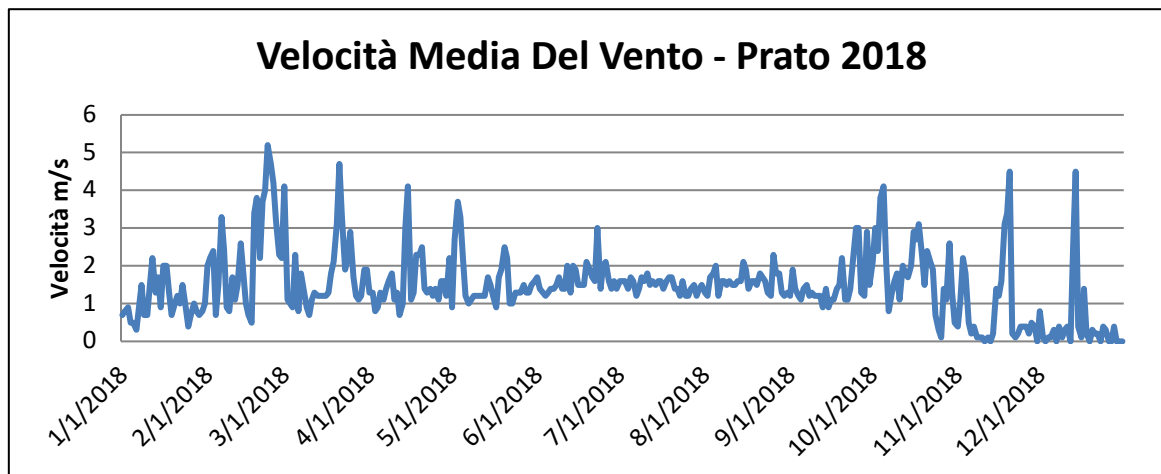


Figura 9 Velocità media del vento- Prato Università

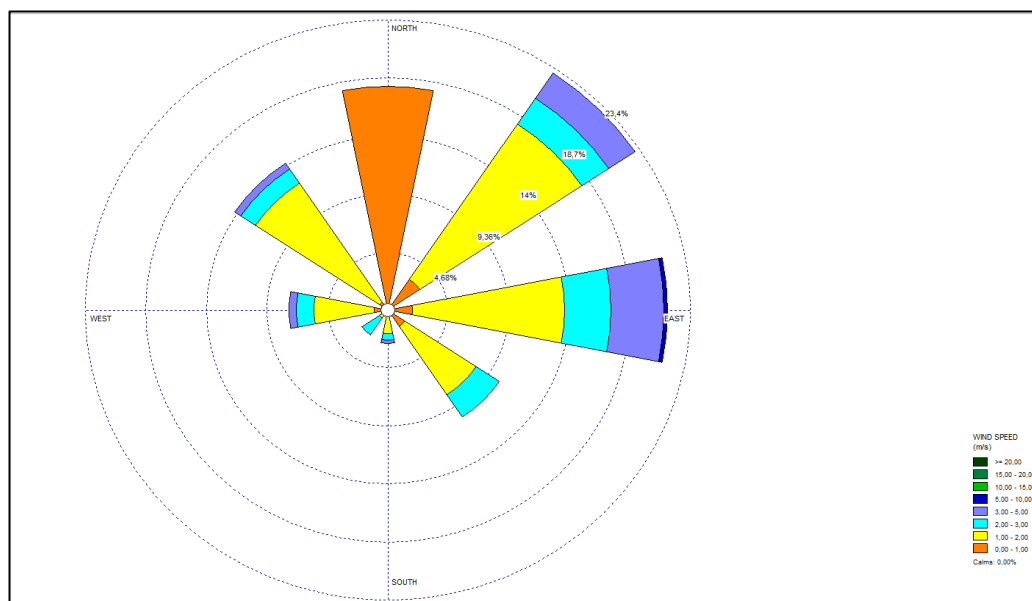


Figura 10 Rosa dei venti- Prato Università

L'intensità del vento registrata, *Figura 9*, ha una media assoluta di 1.46 m/s. e presenta dei picchi distribuiti durante tutto l'anno. Il valore massimo si raggiunge nel mese di febbraio ed è pari a 5.2 m/s.

In relazione alla frequenza percentuale per direzione del vento, *Figura 10*, si nota come le direzioni prevalenti siano:

- NE che si verifica in circa il 25 % dei giorni dell'anno;

- E che si verifica in circa il 22 % dei giorni dell'anno;
- NO che si verifica in circa il 16 % dei giorni dell'anno;
- SE che si verifica in circa l'11 % dei giorni dell'anno;
- N e O che si verificano in circa il 10 % dei giorni dell'anno.

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

3.4.1 Parametri di confronto

Al fine di validare la simulazione che si andrà a condurre, in relazione all'aspetto meteorologico, è opportuno verificare la bontà del dato attuale assunto con la serie storica analizzata.

Ciò che si intende valutare, quindi, è la significatività del dato attuale 2018 rispetto alle condizioni meteorologiche che generalmente si verificano nell'area di Prato in cui è localizzata la stazione meteo, prossima al luogo di intervento.

Con tale verifica sarà quindi evidenziato come il dato meteorologico del 2018 sia conforme al dato storico, non rappresentando così un "outliers" rispetto alle condizioni meteo climatiche medie storiche analizzate nella stessa area. Nello specifico verranno, quindi, di seguito, analizzati e confrontati i principali parametri utilizzati nelle simulazioni modellistiche, quali il regime termico ed il regime anemometrico.

3.4.2 Regime termico

Per quanto riguarda il Regime Termico il confronto è stato effettuato in primis tra le temperature medie mensili (cfr. *Figura 11*). 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 2018 di 0.75°C per le temperature medie mensili.

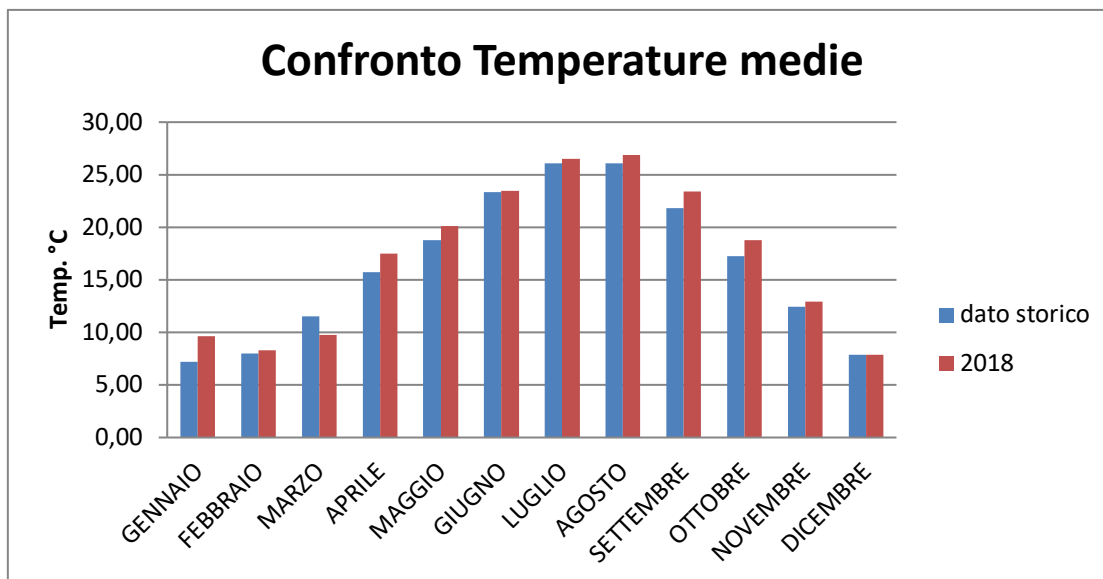


Figura 11 Confronto temperatura media

Anche nel confronto della temperatura massima media e minima media (cfr. Figura 12 e Figura 13) precedentemente studiate e l'anno di riferimento, il trend rimane analogo e non si registrano evidenti differenze di valori di tali temperature. Infatti, come è possibile notare dai grafici, per la temperatura massima media si registra un generale incremento dei valori di temperatura, pari in media a circa 0.70° in più rispetto ai dati storici.

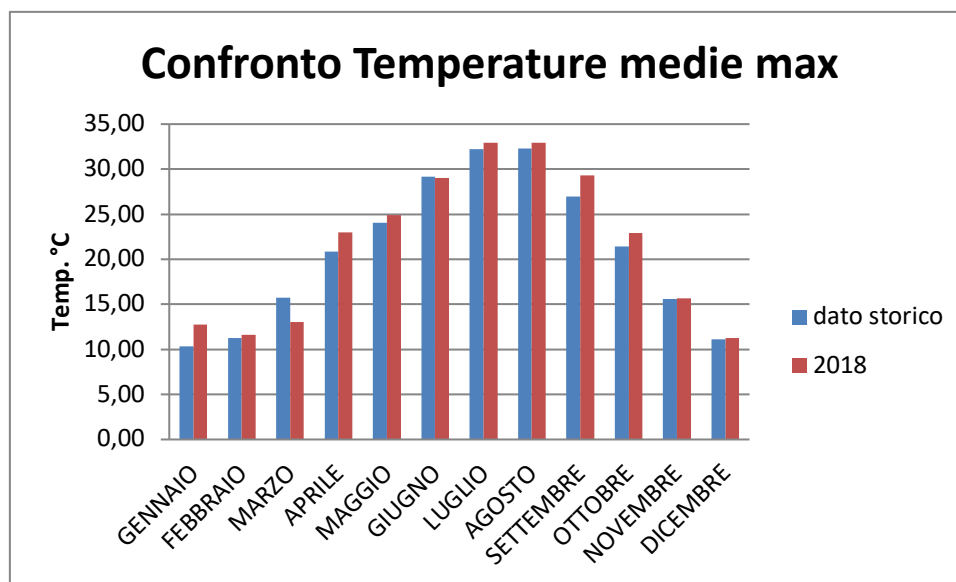


Figura 12 Confronto temperatura massima media

Mentre per la temperatura minima media si registra un generale incremento dei valori di temperatura, pari in media a circa 0.80 °C in più rispetto ai dati storici.

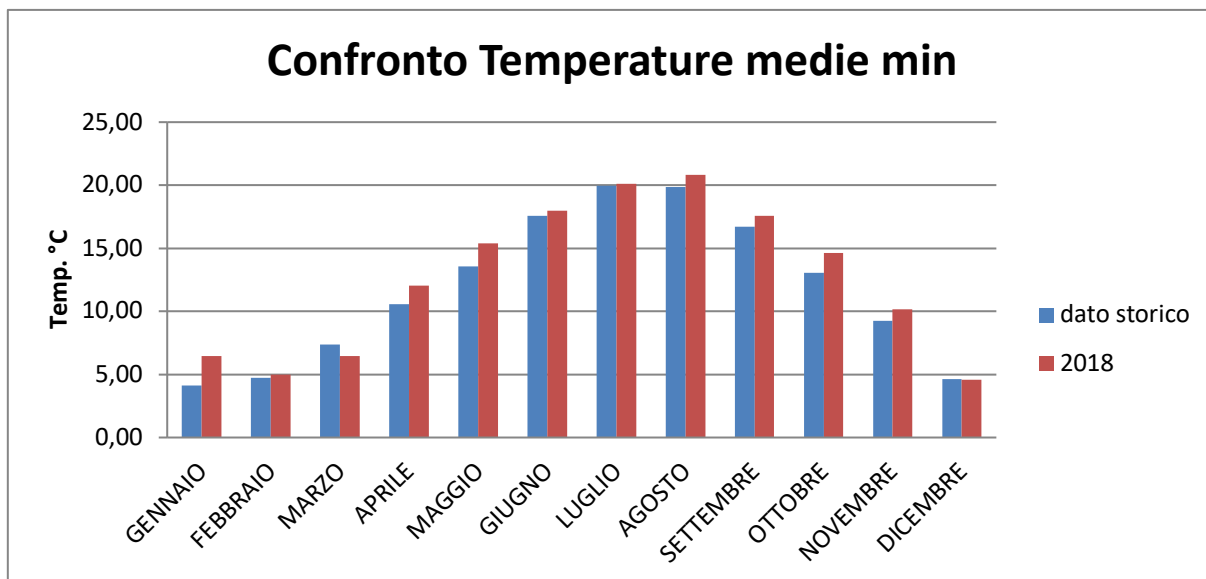


Figura 13 Confronto temperatura minima media

3.4.3 Regime anemometrico

Facendo riferimento ai dati relativi del vento è possibile identificarne l'intensità espressa in m/s.

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

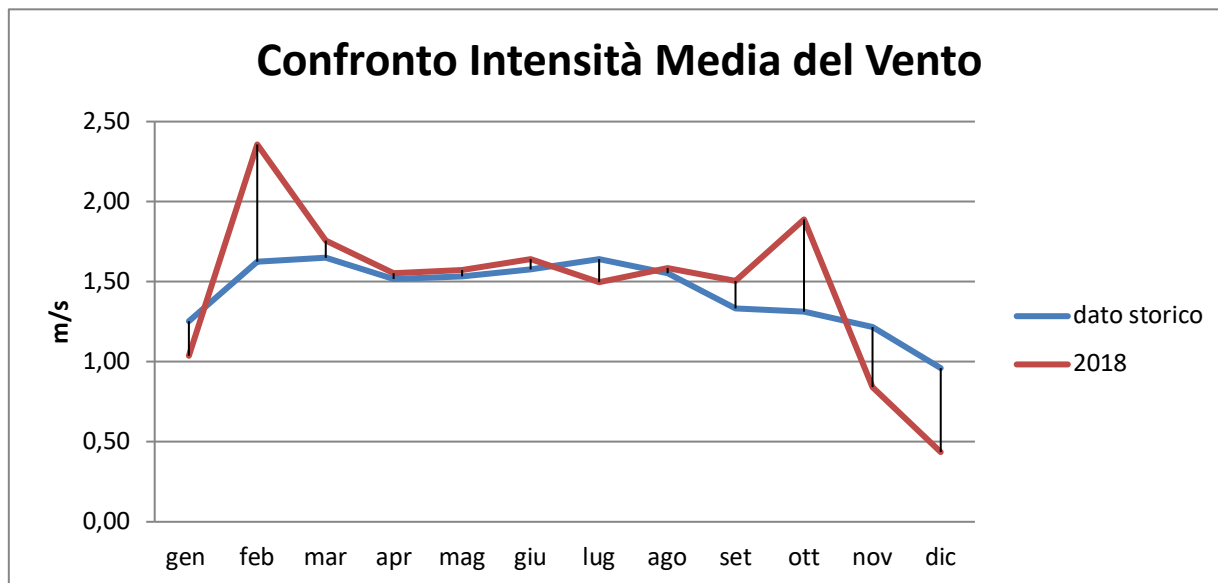


Figura 14 Confronto intensità media del tempo

Per l'anno 2018, la centralina di Prato, si allinea all'andamento del dato storico, con un'intensità media intorno a 1.5 m/s, salvo alcuni picchi riscontrabili nel mese di febbraio e ottobre.

3.4.4 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 2018 della centralina di Prato Università, con i dati provenienti dalle serie storiche per la stessa stazione meteo di riferimento.

Pertanto, può essere considerato attendibile l'intervallo di analisi per l'anno 2018, che verrà nel proseguo della trattazione adottato per le simulazioni modellistiche.

4 ANALISI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

4.1 Piano di risanamento della qualità dell'aria e zonizzazione

Il quadro normativo regionale in materia di gestione della qualità dell'aria è costituito dalle competenze attribuite dal D.lgs 351/99 che recepisce i disposti della Direttiva europea e che attribuisce alle Regioni una serie di attività tra cui, secondo i criteri e le metodologie disposte dal D.M. 261/02 e sulla base, in prima applicazione, della valutazione preliminare e successivamente della valutazione della qualità dell'aria ambiente, la definizione di una lista di zone e agglomerati nei quali:

- i livelli di uno o più inquinanti eccedono il valore limite aumentato del margine di tolleranza;
- i livelli di uno o più inquinanti sono compresi tra il valore limite ed il valore limite aumentato del margine di tolleranza.

Sulla base di tale zonizzazione/classificazione del proprio territorio, le Regioni adottano un piano o un programma per il raggiungimento dei valori limite entro i termini stabiliti.

In particolare, le norme prevedono che si debba adottare un piano o programma di risanamento per il raggiungimento di tale soglia nelle zone o agglomerati ove uno o più inquinanti eccedono il valore limite di riferimento, oppure, adottare un piano di mantenimento della qualità dell'aria al fine di conservare e migliorare i livelli degli inquinanti laddove essi risultino al di sotto dei valori limite.

L'articolo 1, comma 4, del d.lgs. 155/2010, definisce, infatti, la zonizzazione del territorio *"il presupposto su cui si organizza l'attività di valutazione della qualità dell'aria ambiente"*, le cui modalità di svolgimento sono individuate sulla base della classificazione delle zone medesime. La valutazione della qualità dell'aria è, a sua volta, *"il presupposto per l'individuazione delle aree di superamento dei valori, dei livelli, delle soglie e degli obiettivi previsti"* dal decreto per i vari inquinanti; in caso di superamento devono essere adottati piani che agiscano sull'insieme delle principali sorgenti di emissione, ovunque localizzate, che influenzano tali aree di superamento. Il medesimo articolo 1, comma 4, indica sinteticamente i principi per la delimitazione delle zone e degli agglomerati, meglio specificati nell'Appendice I *"Criteri per la zonizzazione del territorio"*.

In primo luogo, sulla base dell'assetto urbanistico, della popolazione residente e della densità abitativa, si individuano gli agglomerati e successivamente, in considerazione principalmente delle caratteristiche orografiche, di quelle meteo climatiche, del carico emissivo e del grado di urbanizzazione del territorio, si prosegue con la delimitazione delle altre zone. Le zone e gli agglomerati individuati sono infine classificati ai fini della tutela della salute umana, secondo quanto specificato dall'articolo 4 del d.lgs. 155/2010, confrontando le concentrazioni nell'aria ambiente degli inquinanti SO₂, NO₂, C₆H₆, CO, Pb, PM₁₀, PM_{2.5}, As, Cd, Ni, B(a)P con le rispettive soglie di valutazione superiori e inferiori riportate nell'Allegato II del citato decreto.

Nella regione Toscana, il processo di zonizzazione ha portato all'individuazione di un agglomerato, definito "Agglomerato di Firenze" e di 5 zone: zona Prato- Pistoia, zona pianura costiera, zona Valdarno e piana Lucchese, zona Valdarno aretino e zona collinare montana.

Il tratto di strada da noi preso in esame nel seguente studio ricade all'interno della zona Prato -Pistoia.

Il 18 Luglio 2018 con delibera consiliare n. 72/2018, il Consiglio regionale della Toscana approva il Piano per la qualità dell'aria ambiente (PRQA), quale strumento di programmazione con cui la Regione, in attuazione delle strategie e degli indirizzi definiti nel Programma regionale di sviluppo (PRS) di cui alla l.r. 1/2015 (Disposizioni in materia di programmazione regionale), e in accordo con il Piano ambientale ed energetico regionale (PAER) di cui alla L.R. 14/2007 (Istituzione del Piano ambientale ed energetico regionale), persegue una strategia regionale integrata per la tutela della qualità dell'aria e per la riduzione delle emissioni dei gas climalteranti, con riferimento alla zonizzazione e classificazione del territorio e alla valutazione della qualità dell'aria.

4.2 Monitoraggio della qualità dell'aria

A partire dal 1/1/2011 la qualità dell'aria viene monitorata attraverso la nuova rete regionale di rilevamento gestita da ARPAT, che va a sostituirsi alle preesistenti reti provinciali.

Uno dei vantaggi introdotti dal nuovo sistema consiste nella possibilità di svincolare la valutazione della qualità dell'aria dal rigido sistema dei confini amministrativi delle province a favore di un sistema fondato sulla ripartizione del territorio in zone omogenee dal punto di vista delle fonti di inquinamento, delle caratteristiche orografiche e meteo-climatiche e del grado di urbanizzazione.

Il numero e il posizionamento delle stazioni di monitoraggio nelle singole zone dipende dalla popolazione residente e dallo storico delle misure effettuate nella zona, nonché dai criteri di classificazione previsti dal D.Lgs 155/2010 con riferimento al tipo di area (urbana, periferica, rurale) e all'emissione dominante (traffico, fondo, industria):

- stazioni di misurazione di TRAFFICO: stazioni ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da emissioni da traffico, provenienti da strade limitrofe con intensità di traffico medio alta
- stazioni di misurazione di FONDO: stazioni ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento non sia influenzato prevalentemente da emissioni da specifiche fonti (industrie, traffico, riscaldamento residenziale, ecc.) ma dal contributo integrato di tutte le fonti poste sopravvento alla stazione rispetto alle direzioni predominanti dei venti nel sito
- stazioni di misurazione INDUSTRIALE: stazioni ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da singole fonti industriali o da zone industriali limitrofe.

La flessibilità del sistema di rilevamento e l'eshaustività del quadro conoscitivo è assicurata anche grazie alla disponibilità di autolaboratori, che consentono l'effettuazione di campagne di misura temporanee in aree sottoposte a monitoraggio specifico in virtù di situazioni particolari (emergenze ambientali, cantieri di grandi dimensioni ecc...)

Nello specifico, nel territorio del Comune di Prato sono installate 2 stazioni urbane fisse di rilevamento, di cui una stazione di fondo e una di traffico.

Le centraline della rete provinciale di rilevamento sono riportate nella *Tabella 5* fornendone le caratteristiche di rappresentatività.

Stazione	Tipo stazione 2001/752/CE	Tipo zona 2001/752/CE	Località
PO-FERRUCCI	Traffico	Urbana	Via Francesco Ferrucci
PO - ROMA	Fondo	Urbana	Via Alessandro Lazzarino

Tabella 5 Centraline della rete fissa di monitoraggio della qualità dell'aria della Provincia di Prato

I parametri monitorati nel 2018 nelle stazioni sono stati i seguenti:

	SO2	CO	NO2	PM 10	PM 2.5	O3	BENZENE
PO-FERRUCCI		X	X	X	X		
PO - ROMA			X	X	X		X

Tabella 6 Inquinanti misurati dalla rete fissa provinciale della qualità dell'aria

Di seguito si riportano le analisi dei dati per i vari inquinanti e le risultanze acquisite nell'ultimo anno vengono confrontate con quelle degli anni precedenti.

Il panorama dello stato della qualità dell'aria nella provincia di Prato emerso dall'analisi dei dati del monitoraggio effettuato sul territorio nel 2018 e delle serie storiche indica una situazione positiva.

Si faccia riferimento, nel caso specifico, alla centralina "PO-ROMA" in quanto quella più vicina al tratto stradale oggetto di studio.

4.3 Particolato

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

Le particelle sospese sono sostanze allo stato solido o liquido, che a causa delle loro piccole dimensioni, restano sospese in atmosfera per tempi più o meno lunghi.

Le polveri totali sospese o PTS vengono anche indicate come PM (particulate matter).

Le polveri PM10 rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 10 micron, mentre le PM2,5, che costituiscono all'incirca il 60% delle PM10, rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 2,5 micron.

Il particolato si origina sia da fonti naturali che antropogeniche. Tra le cause antropiche: l'utilizzo dei combustibili fossili, le emissioni degli autoveicoli, l'usura degli pneumatici, dei freni e del manto stradale.

4.3.1 PM 10

Nel grafico sottostante sono rappresentate le concentrazioni medie annue di PM 10 registrate presso le stazioni della rete provinciale di Prato, attive dal 2008.

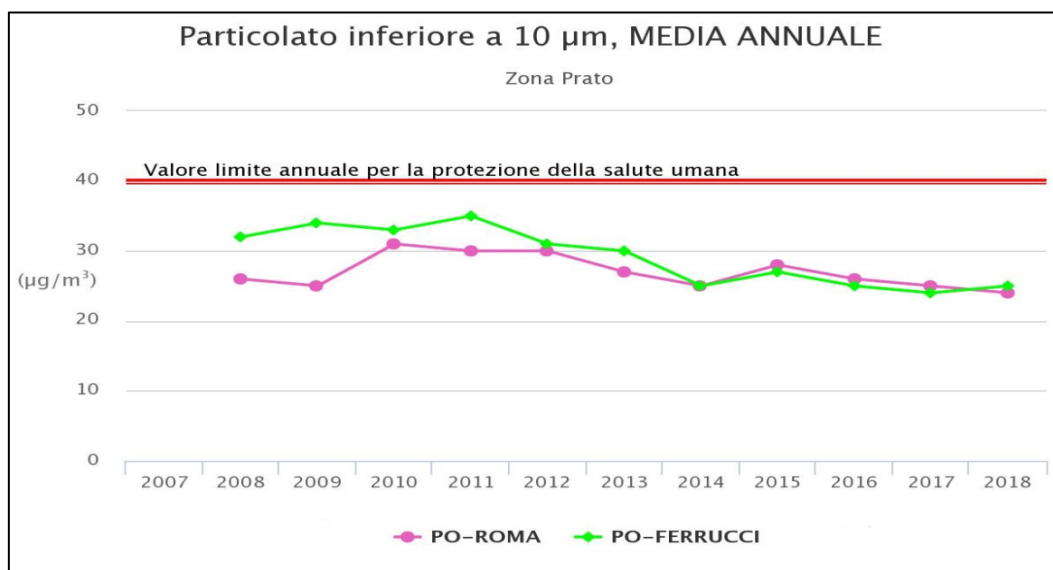


Figura 15- PM10 - Medie annuali - Andamenti 2007-2018 per le stazioni di Prato

Come si può notare, il trend delle concentrazioni ha subito nel 2014 un decisivo decremento, fino ad assestarsi, negli anni successivi, intorno a valori compresi tra 20 e 30 µg/m³, ben al di sotto del limite normativo di 40 µg/m³.

Un tale andamento è riscontrabile in tutta la regione Toscana, come mostrato nella Figura 16.

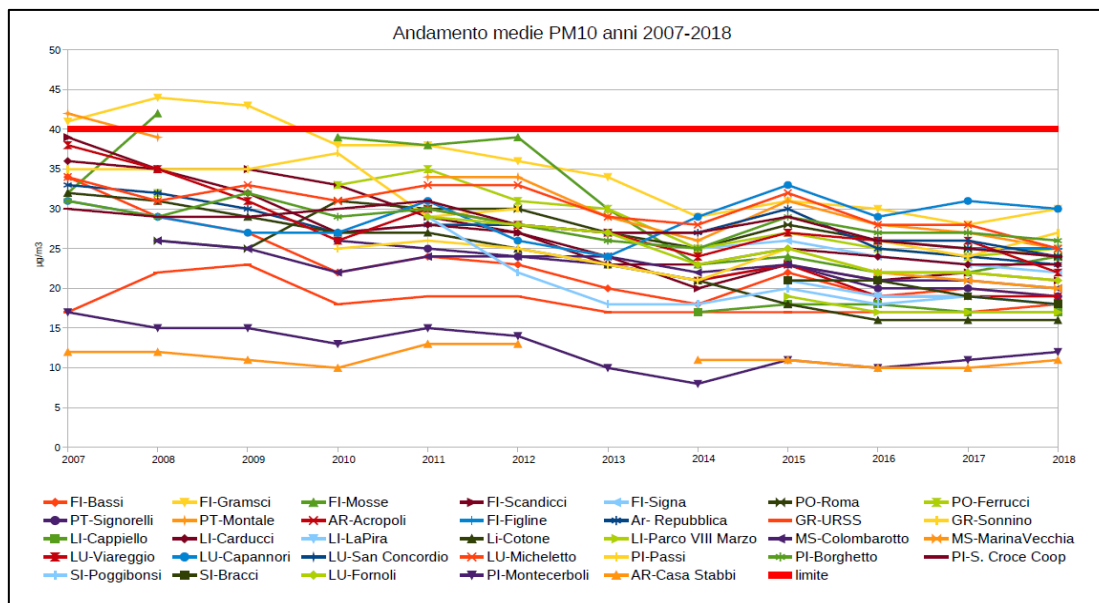


Figura 16- PM10 - Medie annuali - Andamenti 2007-2018 per le stazioni di Rete regionale

I dati mostrano che i valori medi di PM10 registrati in tutte le 34 stazioni della Rete regionale sono stati contenuti in tutto l'ultimo quinquennio, mantenendosi abbondantemente inferiori al limite di legge per tutte le tipologie di stazione.

4.3.2 PM 2.5

Per la stazione di Po-Ferrucci, il 2015 è stato il primo anno di rilevamento di dati della frazione di particolato con diametro inferiore a 2.5µm (il cosiddetto PM2.5 o frazione fine o respirabile) che il Dipartimento territoriale ARPAT ha misurato, mentre per la stazione di Po-Roma i dati sono disponibili sin dal 2007.

Nella Figura 17 è rappresentato il trend delle concentrazioni medie misurate nei rispettivi anni di campionamento del PM2.5 presso le due stazioni.

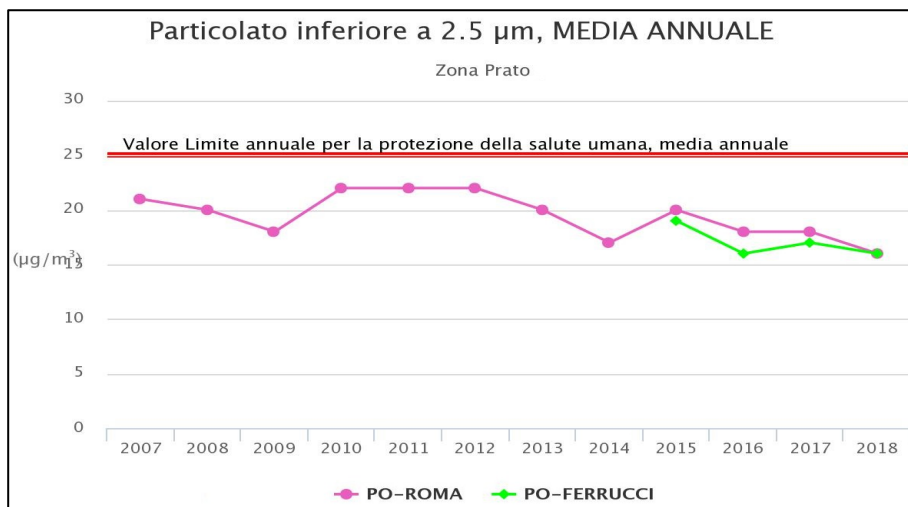


Figura 17- PM2.5 - Medie annuali - Andamenti 2007-2018 per le stazioni di Prato

Gli indicatori sono stati confrontati con il valore limite di legge che per il PM2.5 corrisponde alla media annuale di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$: esso risulta sempre rispettato.

4.4 Ossidi di azoto: NOx

Con il termine NOx vengono indicati genericamente l'insieme dei due più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico ossia l'ossido di azoto, NO, e il biossido di azoto, NO₂.

Gli ossidi di azoto (NOx) vengono emessi direttamente in atmosfera a seguito di tutti i processi di combustione ad alta temperatura (impianti di riscaldamento, motori dei veicoli, combustioni industriali, centrali di potenza, ecc.), per ossidazione dell'azoto atmosferico e, solo in piccola parte, per l'ossidazione dei composti dell'azoto contenuti nei combustibili utilizzati.

Nel caso del traffico autoveicolare, le quantità più elevate di questi inquinanti si rilevano quando i veicoli sono a regime di marcia sostenuta e in fase di accelerazione, poiché la produzione di NOx aumenta all'aumentare del rapporto aria/combustibile, cioè quando è maggiore la disponibilità di ossigeno per la combustione.

A differenza delle polveri sottili, gli ossidi di azoto sono inquinanti più locali, in quanto a causa della loro breve vita media subiscono processi di trasporto a scala spaziale limitata. Le concentrazioni registrate nelle singole stazioni sono pertanto fortemente condizionate dalle eventuali sorgenti presenti in prossimità.

Le due centraline dell'area di Prato non rilevano gli Ossidi di Azoto Complessivi (Nox) ma solo gli No₂.

4.4.1 Biossidi di azoto: NO₂

Il trend delle concentrazioni medie annue di biossido di azoto rilevate nelle centraline della rete provinciale sono riportate nel grafico sottostante e confrontate con il limite normativo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

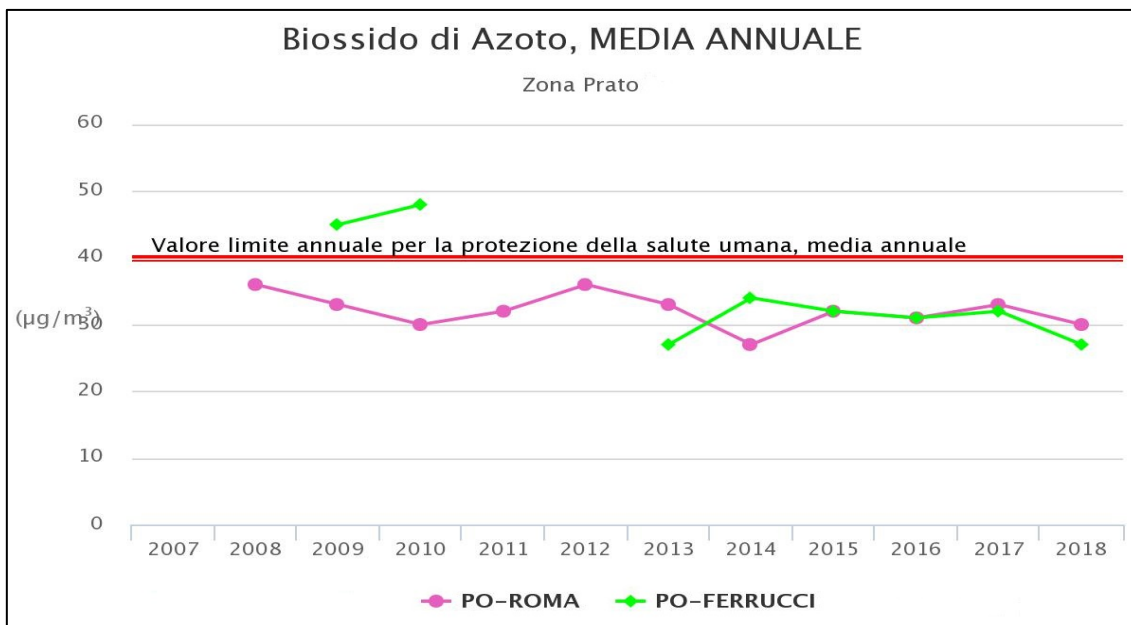


Figura 18- NO2 - Medie annuali - Andamenti 2007-2018 per le stazioni di Prato

Per un maggior approfondimento, si riporta il grafico delle concentrazioni medie di NO2 dell'intera rete di misurazione regionale.

Questo grafico mostra la differenza netta di valori di concentrazioni di biossido di azoto misurata presso i siti di fondo e presso i siti di traffico.

Presso i siti di fondo (barre celesti) le medie annuali registrate dalle stazioni di Rete regionale sono dal 2010 tutte ampiamente inferiori al limite di legge, mentre presso i siti di traffico (barre grigie) tutte le medie sono caratterizzate da valori elevati, con il valore massimo ben lontano dal rispetto del valore limite, a dimostrazione che l'NO2 è un inquinante tipico del traffico veicolare.

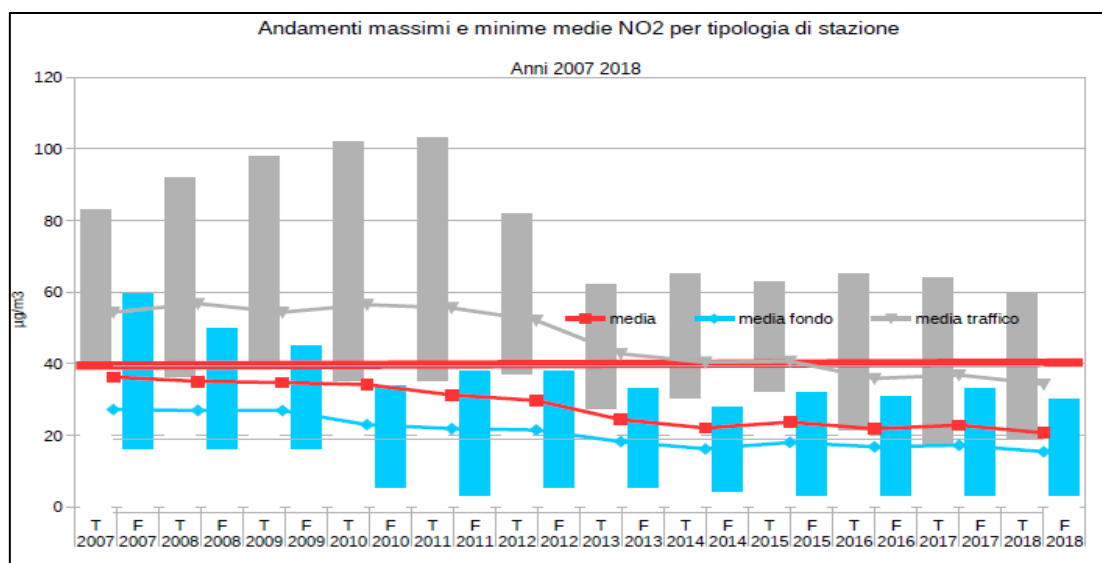


Figura 19 Andamenti massimi e minime medie NO2 per tipologia di stazione

Inoltre, analizzando le medie annuali del 2018 delle stazioni di fondo per zona, si ottiene che il fondo medio di NO₂ più elevato è stato registrato proprio nella zona di Prato-Pistoia con una media pari a 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

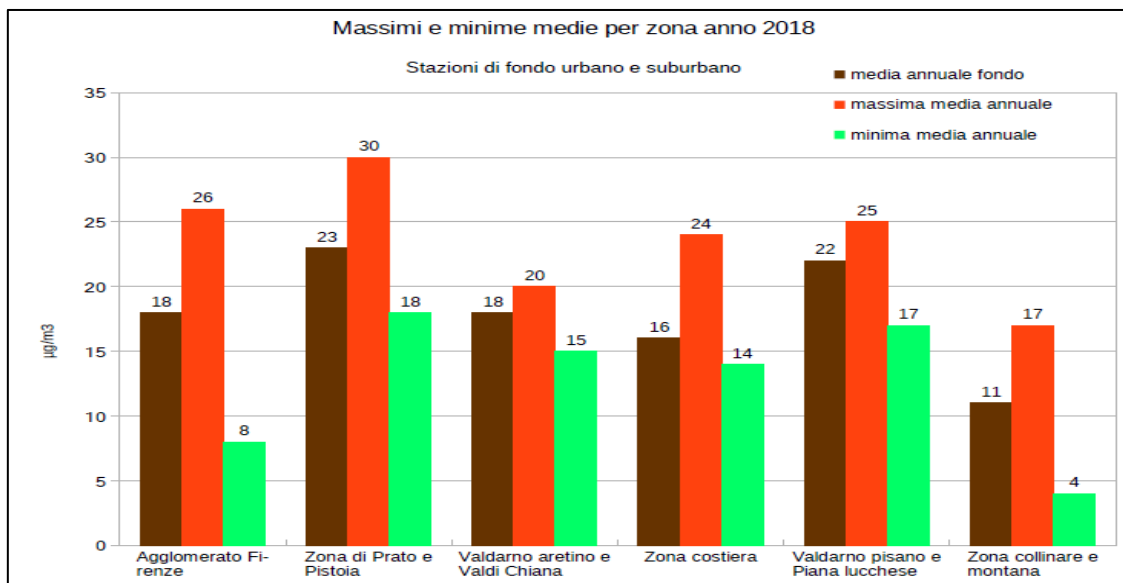


Figura 20 NO₂ - Medie annuali delle stazioni di fondo anno 2018, per Zona

4.5 Monossido di carbonio e Benzene

Il monossido di carbonio (CO) ha origine da processi di combustione incompleta di composti contenenti carbonio. È un gas la cui origine è da ricondursi prevalentemente al traffico autoveicolare, soprattutto ai veicoli a benzina. Le emissioni di CO dai veicoli sono maggiori in fase di decelerazione e di traffico congestionato. Le sue concentrazioni sono strettamente legate ai flussi di traffico locali e gli andamenti giornalieri rispecchiano quelli del traffico, come si nota dalla Figura 21.

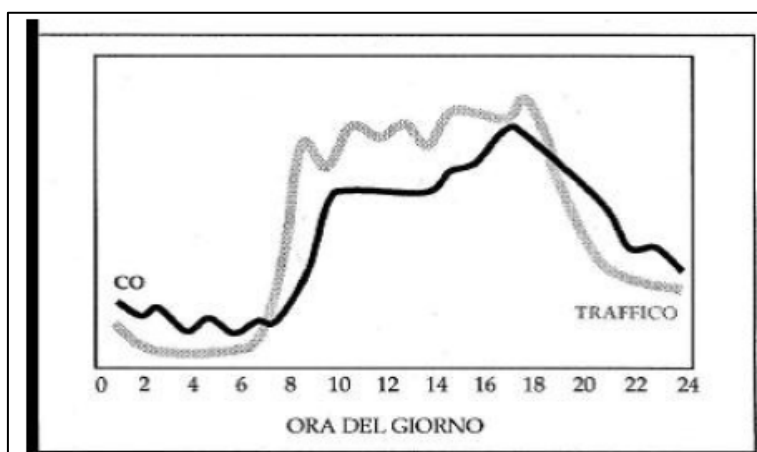


Figura 21 Andamento giornaliero del traffico vs CO

Il monossido di carbonio presenta anche una forte variabilità spaziale: la sua concentrazione mostra di solito valori massimi nell'intorno dell'asse stradale e decresce molto rapidamente allontanandosi da esso, fino a diventare trascurabile a una distanza di alcune decine di metri.

Anche per il benzene, la sorgente più rilevante nell'atmosfera è rappresentata dal traffico veicolare, principalmente dai gas di scarico dei veicoli alimentati a benzina, nei quali viene aggiunto al carburante (la cosiddetta benzina verde) come antidetonante, miscelato con altri idrocarburi (toluene, xilene, ecc.) in sostituzione del piombo tetraetile impiegato fino a qualche anno fa. In piccola parte il benzene proviene dalle emissioni che si verificano nei cicli di raffinazione, stoccaggio e distribuzione della benzina.

Le concentrazioni di questi due inquinanti, si sono significativamente ridotte negli anni, grazie alle modifiche introdotte sui combustibili ed allo sviluppo tecnologico nel settore automobilistico e si sono assestate su valori ampiamente inferiori ai limite normativi.

4.5.1 Monossido di Carbonio: CO

Per l'inquinante monossido di carbonio, sono disponibili i dati della sola stazione PO-Ferrucci e solo a partire dal 2013 in maniera continua e regolare.

Il valore limite indicato dal D.lgs 155/2010 corrisponde alla media massima giornaliera calcolata su 8 ore ed è pari a 10 mg/m³.

Come si evince dal grafico in *Figura 22*, i valori di CO registrati sono ampiamente sotto il limite imposto, non solo nella provincia di Prato, ma nell'intera regione Toscana (*Figura 23*).

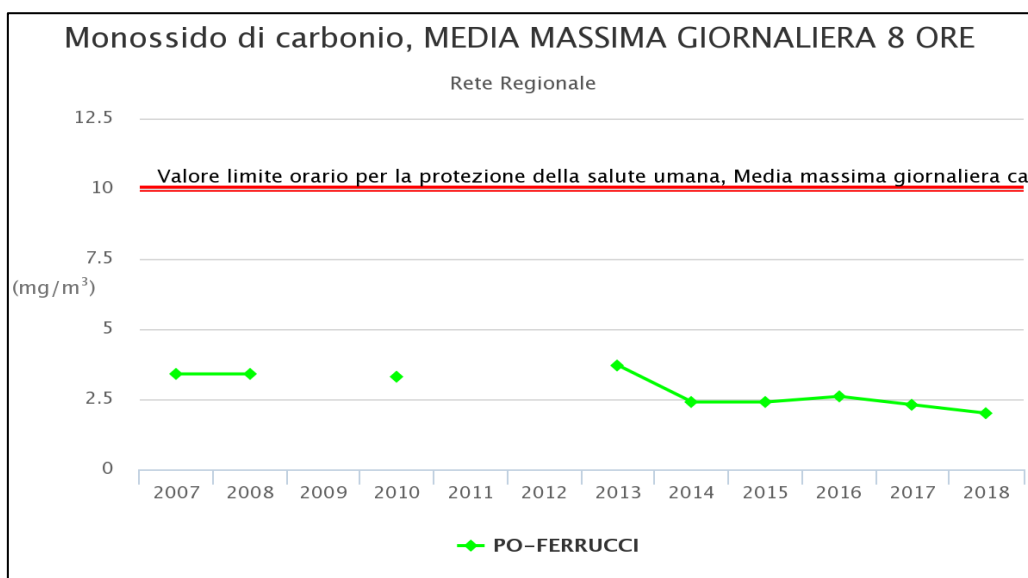


Figura 22 CO -Medie annuali - Andamenti 2007-2018 per le stazioni di Prato

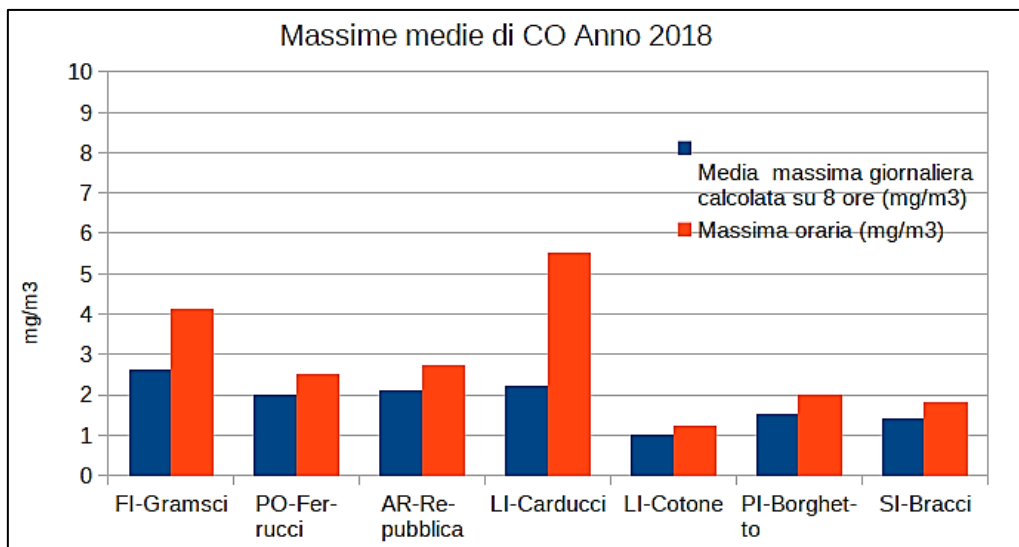


Figura 23 CO Massime media annuale 2018, per Zona

4.5.2 Benzene: C₆H₆

I valori di concentrazione del benzene, per quanto concerne la provincia di Prato, vengono registrati solo nella stazione di PO-Roma, a partire dall'anno 2014.

Il valore di riferimento per il benzene è pari ad una media annuale di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

I dati illustrati nel grafico seguente rappresentano un trend molto positivo e nettamente inferiori al limite di normativa.

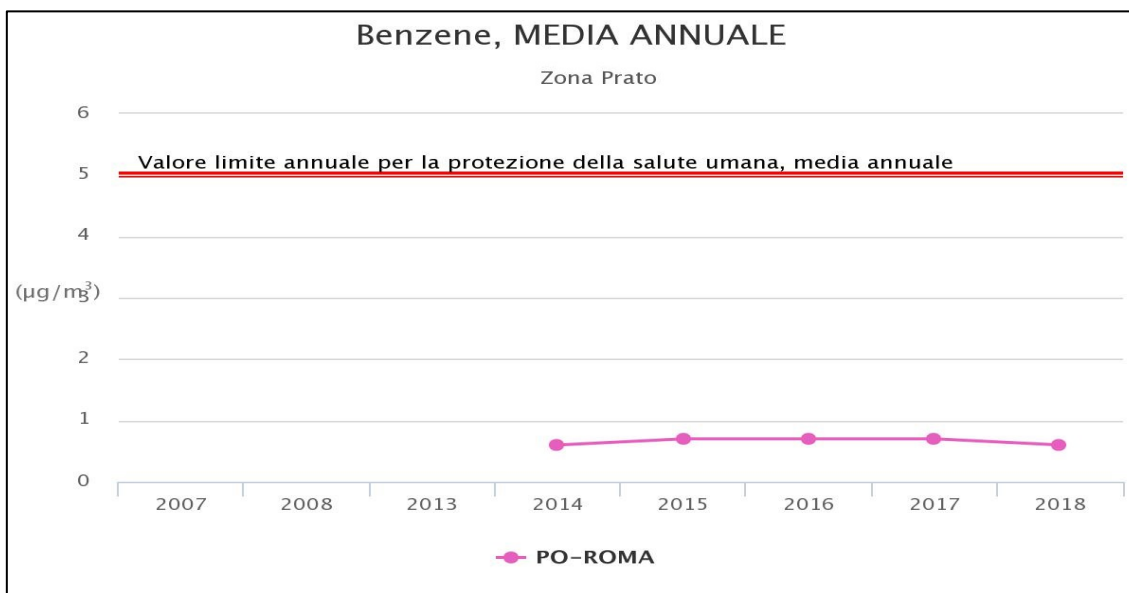


Figura 24 Benzene - Medie annuali - Andamenti 2014-2018 per le stazioni di Prato

Per completezza riportiamo l'andamento delle sette stazioni di monitoraggio regionale del benzene. I dati medi annuali registrati negli ultimi anni sono stati piuttosto costanti in tutti i siti di monitoraggio confermando una situazione molto buona nei confronti del limite del D.lgs.155/2010.

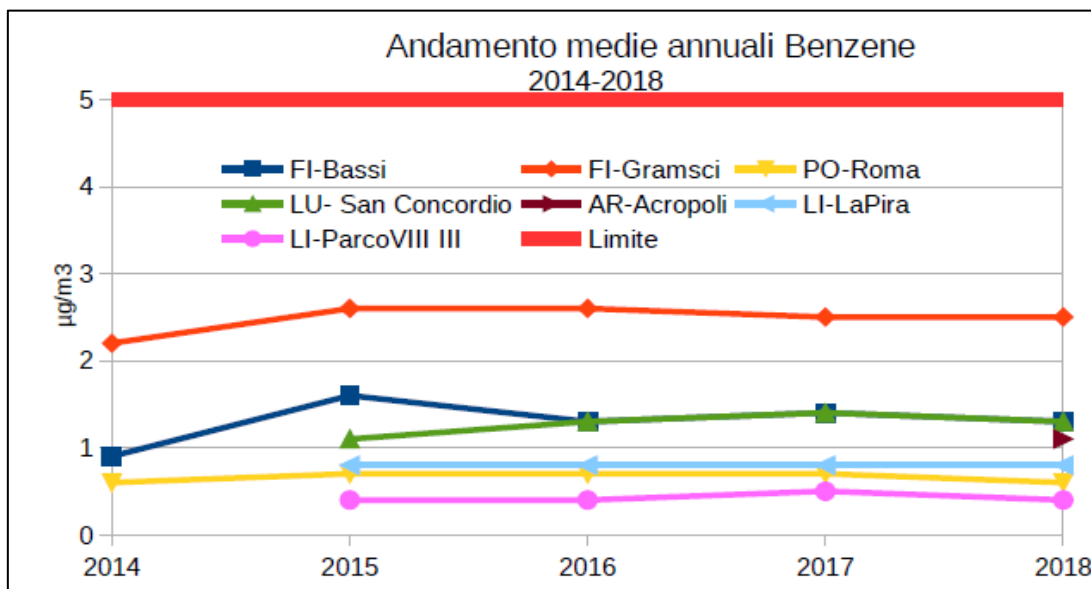


Figura 25 Benzene - Medie annuali - Andamenti 2014-2018 per le stazioni della regione Toscana

5 I MODELLI DI SIMULAZIONE UTILIZZATI

5.1 Copert 5

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

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

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

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

- g) Il progetto congiunto JRC/CONCAWE/ACEA sull' evaporazione del carburante da veicoli a benzina (2005-2007)¹.

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

La metodologia prevede che le emissioni siano calcolate usando una combinazione di dati tecnici e di "attività" quali il numero di veicoli circolanti, i chilometri percorsi, la velocità media, ecc. L'algoritmo utilizzato nella metodologia descrive le emissioni totali come la somma di due componenti:

- EHOT: sono le emissioni dovute al regime di funzionamento del motore così detto "a caldo";
- ECOLD: sono le emissioni legate al transitorio termico legato al funzionamento del motore così detto "a freddo".

Inoltre le emissioni totali sono funzione anche delle diverse condizioni di moto. La metodologia distingue tre grandi famiglie: Urbana, Extraurbana e Autostradale.

L'algoritmo generale di calcolo è quindi definito come:

$$E_i = FE_{i,c} \cdot p_c \cdot N_c$$

dove:

- E_i = emissione dell'inquinante in [g];
- $FE_{i,c}$ = fattore di emissione dell'inquinante/i per i veicoli di categoria c [g/km];
- p_c = percorrenza media dei veicoli di categoria c [km];
- N_c = numero di veicoli di categoria c [-].

L'emissione totale lungo l'arco di strada considerata viene valutata sommando i singoli contributi valutati per ciascuna tipologia di veicolo. Le tipologie di veicolo sono: veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti, autovetture, autobus e motocicli.

5.2 Aermod view

Il modello di simulazione matematico relativo alla dispersione degli inquinanti in atmosfera a cui si è fatto riferimento per le simulazioni, 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.

¹ Informazioni tratte dal sito <http://www.emisia.com>

AERMOD View incorpora i principali modelli di calcolo utilizzati dall'U.S. EPA attraverso un'interfaccia integrata. Tali modelli sono:

- 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"², che consente di valutare, attraverso algoritmi di calcolo, i fattori di deflessione degli edifici, i parametri di deposizione al suolo degli inquinanti, l'effetto locale dell'orografia del territorio ed in ultimo i calcoli relativi alle turbolenze meteorologiche.

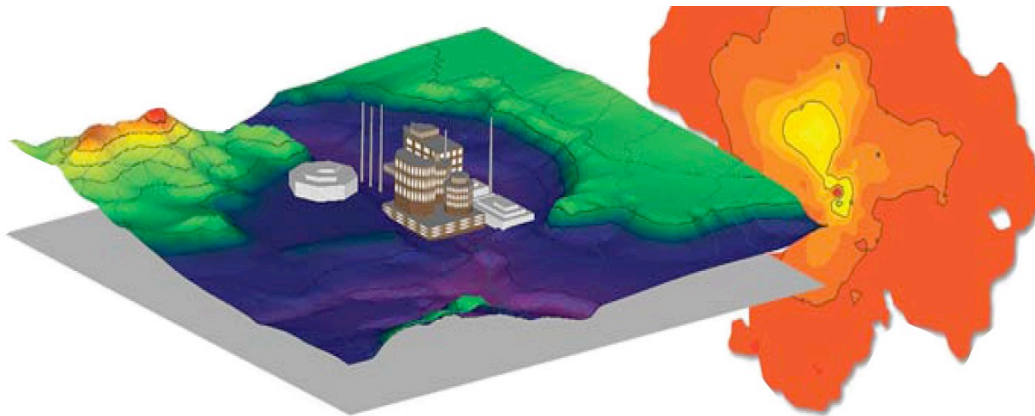


Figura 26 AermodView Esempio di modellazione grafica 3D delle curve di isoconcentrazione

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 stessa³:

- 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.

² AERMOD Tech Guide – Gaussian Plume Air Dispersion Model. Version 7.6

³ US EPA, User Guide for the AMS EPA regulatory model AERMOD – USA (2004)

Tale 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 tali 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.

In ultimo il modello si avvale di due ulteriori modelli per la valutazione 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.

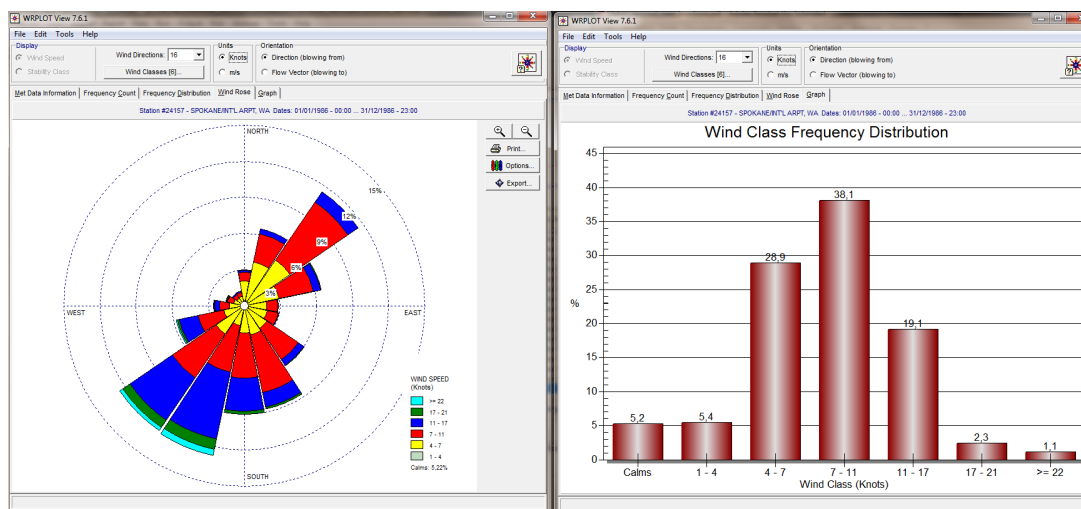


Figura 27 Esempio di applicazione del modulo AERMET

Come accennato, l'output del modello è rappresentato dalla valutazione 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 tali parametri 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.

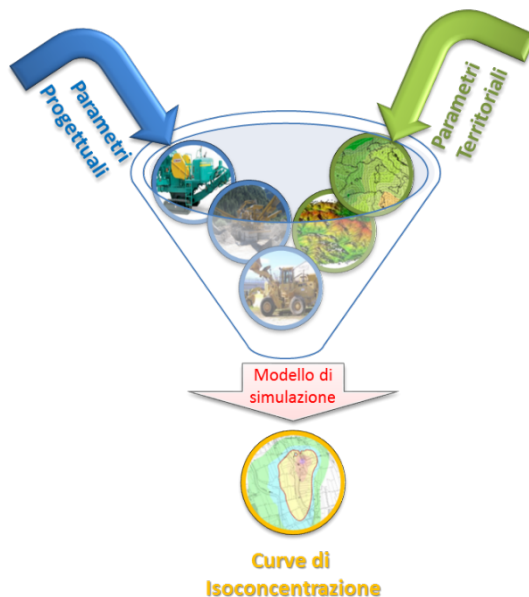


Figura 28 Definizione logica del modello adottato

6 LO SCENARIO DI ESERCIZIO ATTUALE: ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI

Di seguito vengono descritte le analisi eseguite al fine di valutare lo stato attuale in termini di emissioni dovute al traffico stradale.

6.1 Aermod View: gli input territoriali

6.1.1 Gli input orografici

Il software Aermod View, grazie al processore territoriale AERMAP, permette di configurare essenzialmente tre tipologie di territorio così come mostrato nella figura seguente.

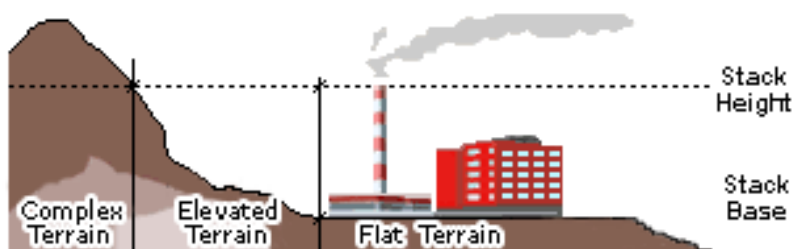


Figura 29 Tipologie di configurazioni territoriali

Con riferimento all'infrastruttura attuale, si è adottata una conformazione del territorio di tipo "flat terrain". Infatti, nel caso in esame, il terreno non presenta particolari complessità orografiche: la strada si trova in una zona pianeggiante.

6.1.2 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 è stato necessario costruire adeguati file meteorologici in formati compatibili con il preprocessore meteorologico utilizzato dal modello di simulazione Aermod, denominato Aermet View

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

Nel caso specifico sono stati utilizzati i dati meteo monitorati dalla stazione di rilevamento meteorologica descritta precedentemente, per la costruzione del primo file suddetto, mentre i dati profilometrici sono stati calcolati attraverso l'applicazione del "Upper Air Estimator"⁴ sviluppato dalla Lakes Environmental. Tale

⁴ Worldwide Data Quality Effects on PBL Short-Range Regulatory Air Dispersion Models – Jesse L. Thé, Russell Lee, Roger W. Brode

strumento consente di fornire, attraverso leggi di regressione, il profilo meteorologico in quota. Tale sistema è riconosciuto dalla FAA5 ed alcune analisi sperimentali hanno dimostrato una buona approssimazione tra le concentrazioni stimate a partire dai dati in quota rispetto a quelle stimate attraverso l'uso dell'Upper Air Estimator.

Dai dati grezzi, attraverso il tool "File maker" presente su AERMET, sono stati costruiti i file compatibili col preprocessore Aermet View: in particolare il file descrittivo dei parametri al suolo è stato realizzato in formato "SAMSON". Tale file contiene la descrizione delle condizioni meteorologiche al suolo caratterizzanti i giorni di cui si voglia studiare la dispersione.

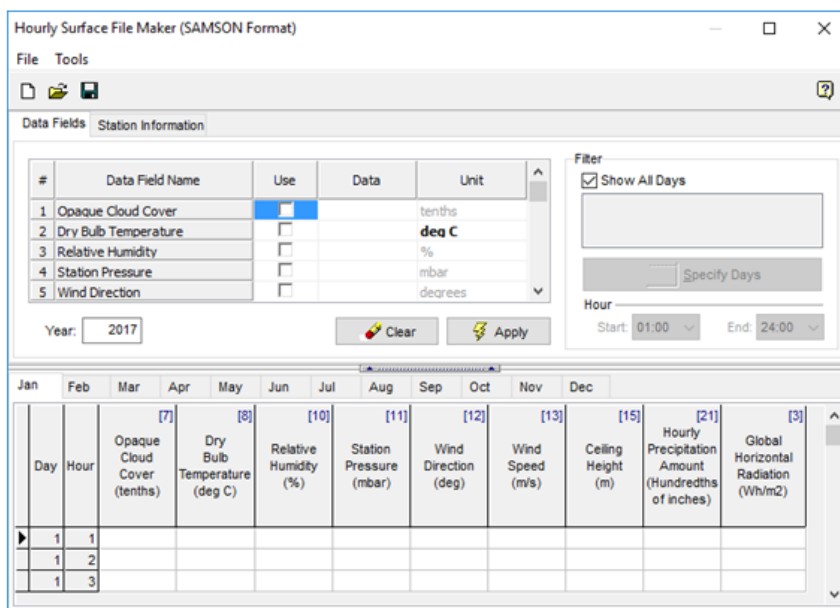


Figura 30 Esempio del tool File Maker

18	1	1	1	0	0	0	0	?	0	?	0	?	10	10	-7.2	-8.3	92
930	180	3.6	11.3	240	999999999	9	99999.	20	0	0							
18	1	1	2	0	0	0	?	0	?	0	?	10	10	-7.2	-8.3	92	
930	130	1.5	16.1	120	999999999	9	99999.	20	0	0							
18	1	1	3	0	0	0	?	0	?	0	?	10	10	-7.2	-7.8	96	
929	0	0.0	11.3	120	999999999	9	99999.	20	0	0							

Figura 31 Esempio di alcune righe di un file scritto in formato "SAMSON"

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

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:

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

- 001: indica l'anno che si sta considerando; l'esempio riguarda l'anno 2018 che viene indicato con le ultime due cifre "18";
- 002-003: viene specificato il mese, nell'esempio siamo a gennaio: "1";
- 005-006: anche il giorno viene indicato con due cifre, nell'esempio siamo al primo giorno di gennaio: "01";
- 008-009: si specifica l'ora;
- 024-027: rappresentano la radiazione globale orizzontale espressa in Wh/m²
- 051-052: specificano la copertura nuvolosa opaca con valori che vanno da 0 a 10
- 054-055: indicano la temperatura, espressa in gradi Celsius
- 066-068: denotano l'umidità relativa in %
- 070-073: indicano la pressione della stazione
- 075-077: rappresentano la direzione del vento espressa in gradi, in cui N=0 o 360, E=90, S=180, W=270
- 078-082: specificano la velocità del vento, espressa in m/s
- 089-088: viene indicata l'altezza a cui si trovano le nuvole, espressa in metri;
- 124-130: denotano i mm di precipitazione caduti in un ora.

6.2 Aermod View: gli input progettuali

6.2.1 L'infrastruttura attuale

Il tratto di strada di nostro interesse è Viale Leonardo da Vinci, rappresentato in arancione nella figura 32 seguente, che ad oggi presenta due corsie, una per senso di marcia. Tale asse stradale è ad oggi interessato da un notevolissimo volume giornaliero di traffico stradale (circa 65000 veicoli/giorno) e si inserisce all'interno di una rete stradale cittadina urbana.

Lo studio di impatto atmosferico è stato condotto considerando le emissioni dovute al traffico circolante sul solo asse principale (Viale Leonardo da Vinci appunto) tralasciando quelle relative alle strade trasversali. Questo in quanto, nell'area a ridosso dell'infrastruttura di studio, il contributo emissivo dell'asse principale può essere considerato dominante rispetto a quello generato dalle strade trasversali in virtù del notevole volume di traffico che lo interessa.



Figura 32 Strada Viale Leonardo da Vinci

6.2.2 Metodologia di analisi per il calcolo dei fattori di emissione

Parte centrale del metodo di stima delle concentrazioni è la definizione dei fattori di emissione. La metodologia all'interno del modello Copert lega i fattori di emissione alla velocità media tenuta dai veicoli, attraverso leggi di regressione determinate empiricamente. Tali equazioni dipendono dal veicolo considerato, in termini di legislazione emissiva e tipologia di veicolo (autoveicolo, veicolo commerciale, cilindrata o peso del mezzo ecc.).

Nel caso in esame pertanto, una volta stimata la composizione del parco veicolare circolante è stato poi valutato, attraverso Copert, un fattore di emissione per ciascuna categoria di veicoli, aggregando nei veicoli leggeri gli autoveicoli, motocicli e i veicoli commerciali leggeri, mentre nei veicoli pesanti i veicoli industriali pesanti, i trattori stradali e gli autobus.

A tali categorie sono quindi state associate velocità differenti e fattori di emissione differenti. Effettuando poi la media pesata di tali valori è stato possibile determinare il fattore di emissione medio per la descrizione del parco veicolare complessivo. Il fattore di emissione rappresenta uno degli input di base del software Aermod View, utilizzato per valutare le concentrazioni di inquinanti in atmosfera.

6.2.3 Composizione del parco veicolare circolante

Uno degli elementi fondamentali per il calcolo delle emissioni è la caratterizzazione del parco veicolare in termini di tipologia di veicoli e di numerosità. I dati utili a tale scopo sono dati ufficiali forniti direttamente dall'Automobile Club d'Italia (ACI). Nel caso specifico si è fatto riferimento alla rappresentazione del parco veicolare italiano relativa al 2018.

Il documento che si è consultato, contenente tutti i dati relativi alle differenti tipologie veicolari, è una sintesi articolata dei dati tratti dagli archivi dell'ente sulle informazioni tecnico – giuridiche dei veicoli circolanti.

L'analisi sul traffico veicolare viene fatta suddividendo questo in diverse classi "COPERT" ovvero secondo la classificazione individuata dall'Air Pollutant Emission Inventory guide book.

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

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

Al fine di assumere un dato sufficientemente significativo e cautelativo si è scelto di far riferimento alla suddivisione provinciale del parco veicolare "Provincia Prato".

Le tipologie veicolari che sono state considerate riguardano:

- autovetture, distinte per tipologia di alimentazione;
- veicoli commerciali leggeri, distinti per tipologia di alimentazione;
- veicoli commerciali pesanti, distinti per tipologia di alimentazione;
- trattori stradali, distinti per tipologia di alimentazione;
- autobus, distinti per tipologia di alimentazione.

PARCO VEICOLARE PROVINCIA DI PRATO ANNO 2018						
	Benzina	LPG Bifuel	CNG Bifuel	diesel	Ibrida benzina	Ibrida gasolio
EURO 0	9666	470	106	1227	-	-
EURO 1	2186	141	44	291	-	-
EURO 2	6830	289	88	1381	-	-
EURO 3	9101	252	123	6239	-	-
EURO 4	22991	3265	1390	14903	26	-
EURO 5	13856	2848	1291	17490	255	11
EURO 6	16635	3117	849	20171	921	8
	Benzina	LPG Bifuel	CNG Bifuel	diesel	Ibrida benzina	Ibrida gasolio
EURO 0	723	62	6	2114	-	-
EURO 1	129	18	5	1118	-	-
EURO 2	334	9	4	2447	-	-
EURO 3	172	21	13	3496	-	-
EURO 4	137	88	157	3510	-	-
EURO 5	62	34	126	2995	-	-
EURO 6	49	59	78	2158	-	-
	Benzina	LPG Bifuel	CNG Bifuel	diesel	Ibrida benzina	Ibrida gasolio
EURO 0	40	3	-	-	-	-
EURO 1	10	2	-	-	-	-
EURO 2	15	1	-	-	-	-
EURO 3	18	2	-	-	-	-
EURO 4	15	10	-	347	-	-
EURO 5	5	4	-	455	-	-
EURO 6	4	7	-	376	-	-
	Benzina	LPG Bifuel	CNG Bifuel	diesel	Ibrida benzina	Ibrida gasolio
EURO 0	5841	-	-	-	-	-
EURO 1	2965	-	-	-	-	-
EURO 2	3123	-	-	-	-	-
EURO 3	8591	-	-	-	-	-
EURO 4	1841	-	-	-	-	-
EURO 5	-	-	-	-	-	-
EURO 6	-	-	-	-	-	-
	Benzina	LPG Bifuel	CNG Bifuel	diesel	Ibrida benzina	Ibrida gasolio
EURO 0	-	-	-	15	-	-
EURO 1	-	-	-	16	-	-
EURO 2	-	-	-	71	-	-
EURO 3	-	-	-	130	-	-
EURO 4	-	-	-	11	-	-
EURO 5	-	-	10	40	-	-
EURO 6	-	-	-	72	-	-

Tabella 7 Parco veicolare provincia di Prato anno 2018

6.2.4 Volumi e velocità del traffico circolante

Nel presente paragrafo si forniscono i dati progettuali utilizzati per la stima dei fattori di emissione su Copert. In particolare, allo stato attuale, si è considerata una velocità pari a 50 km/h.

Per quanto riguarda, infine, i flussi di traffico circolanti sull'infrastruttura attuale di riferimento, essi sono riportati in *Tabella 8*.

I dati sono quelli riportati nello studio di traffico fornito dal Comune di Prato al quale si rimanda per eventuali dettagli (elaborato 00.07_P00_EG00_CAN_RE03_A "Analisi della viabilità tramite microsimulazione veicolare").

Scenario Attuale - Anno 2018	Traffico Giornaliero Medio Annuo		
Tratta	Veicoli Leggeri	Veicoli Pesanti	Veicoli Totali
Viale Leonardo da Vinci	61.562	3.603	65.165

Tabella 8 Flussi di traffico – configurazione attuale

6.2.5 I fattori di emissione

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

In particolare, una volta analizzato il parco veicolare presente, si è ricavata la percentuale di ogni tipologia di veicolo, da cui sono stati ricavati i traffici orari medi (TOM) mostrati in *Tabella 9*.

A questo punto si è proceduto al calcolo del fattore di emissione per ciascun inquinante (*Tabella 10*): esso è il risultato della media pesata tra i fattori di emissione della singola tipologia di veicoli (output da Copert) e i TOM, precedentemente calcolati.

Per la configurazione attuale nelle seguenti tabelle sono riportati:

- i traffici orari derivanti dallo studio del traffico e adattati sulle classi veicolari utilizzate per il calcolo delle emissioni;
- la velocità media di percorrenza;
- i fattori di emissione pesati sui traffici orari specifici per ogni inquinante, espressi in g/km*veic (*Tabella 10*) e in g/km*s (*Tabella 11*).

Strada	Velocità media [km/h]	Traffico leggero			Traffico pesante	
		T.O.M. autovetture [veh/h]	T.O.M. motocicli [veh/h]	T.O.M. veicoli comm. leggeri [veh/h]	T.O.M. veicoli comm. pesanti [veh/h]	T.O.M. autobus [veh/h]
Viale L. da Vinci	50	2.004	307	254	129	21

Tabella 9 Transiti orari per classe veicolare e velocità media – configurazione attuale

Strada	NOx g/(km*veic)	NO2 g/(km*veic)	CO g/(km*veic)	PM10 g/(km*veic)	PM2.5 g/(km*veic)	Benzene g/(km*veic)
Viale L. da Vinci	0,600	0,113	1,383	0,036	0,026	0,003

Tabella 10 Fattori di emissione pesati - configurazione attuale

Strada	NOx g/(km*veic)	NO₂ g/(km*s)	CO g/(km*s)	PM10 g/(km*s)	PM2.5 g/(km*s)	Benzene g/(km*s)
Viale L. da Vinci	0,452	0,085	1,043	0,027	0,020	0,00237

Tabella 11 Emissioni attuali per km di strada - configurazione attuale

I fattori di emissione del Benzene, non presente su Copert, sono stati ricavati dalla banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto in Italia, consultabile sul sito dell'ISPRA <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp>.

Tale banca dati, si basa sulle stime effettuate ai fini della redazione dell'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera, realizzato annualmente da Ispra come strumento di verifica degli impegni assunti a livello internazionale sulla protezione dell'ambiente atmosferico, quali la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), il Protocollo di Kyoto, la Convenzione di Ginevra sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero (UNECE-CLRTAP), le Direttive europee sulla limitazione delle emissioni.

Sulla base dei traffici forniti dallo studio trasportistico, conoscendo le percentuali di veicoli leggeri e pesanti circolanti sul tratto stradale, è stato possibile pesare i fattori di emissione sopra riportati, calcolando, un fattore di emissione medio.

Il dato è stato, poi, ricondotto a g/s, per poter essere inserito nel software Aermid. Per quanto riguarda i fattori di emissione medi, relativi alle velocità di 50 Km/h, si è riportato il dato in g/s attraverso il prodotto con la lunghezza del tratto di appartenenza e del dato di traffico giornaliero medio.

6.3 I dati di output delle simulazioni

Dopo aver completato la fase di modellazione dell'input è stato possibile ottenere l'output del modello, il quale ha permesso di determinare i livelli di concentrazione relativi ai principali inquinanti generati dalla sorgente stradale allo stato attuale.

In particolare, vengono riportati i valori relativi a:

- Ossidi di Azoto NOx;
- Biossido di Azoto NO₂;
- Monossido di Carbonio CO;
- Particolato PM10;
- Particolato PM2.5;

- Benzene C₆H₆.

Per la rappresentazione grafica delle concentrazioni medie annue è possibile far riferimento ai seguenti elaborati, specifici per ogni inquinante analizzato:

04.04_P00_IA31_AMB_CT02_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NOx - Ante-operam
04.05_P00_IA31_AMB_CT03_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - CO - Ante-operam
04.06_P00_IA31_AMB_CT04_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - Benzene - Ante-operam
04.07_P00_IA31_AMB_CT05_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM 10 - Ante-operam
04.08_P00_IA31_AMB_CT06_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM 2.5 - Ante-operam
04.46_P00_IA31_AMB_CT14_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NO ₂ - Ante-operam

7 LO SCENARIO DI ESERCIZIO DI PROGETTO: ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI

Di seguito vengono descritte le analisi eseguite al fine di valutare lo stato di progetto in termini di emissioni dovute al traffico stradale.

7.1 Aermod View: gli input territoriali

7.1.1 Gli input orografici

Come già evidenziato nell'analisi dello scenario attuale, uno degli input principali per l'applicazione del modello di simulazione in Aermod è il dato orografico. Il software Aermod View, grazie al processore territoriale AERMAP, permette di configurare essenzialmente tre tipologie di territorio così come mostrato in *Figura 33*.

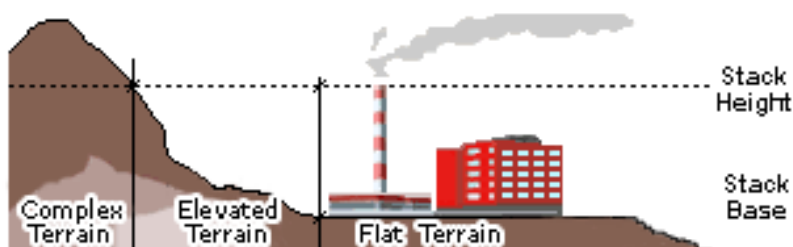


Figura 33 Tipologie di configurazioni territoriali

Con riferimento all'area in esame, anche per lo scenario di progetto si è adottata una conformazione del territorio di tipo "flat terrain".

7.1.2 Gli input meteorologici

Il secondo input principale per l'applicazione del modello di simulazione in Aermod è il dato meteorologico. Al fine di realizzare un dato compatibile con il preprocessore Aermat, il dato grezzo derivante dal bollettino per la centralina di Prato Università è stato elaborato e trasformato in formato SAMSON. Pertanto, come dato meteorologico di riferimento per le simulazioni dello scenario di progetto sono stati considerati gli stessi dati utilizzati per lo stato attuale, in quanto non è possibile prevedere come saranno le condizioni meteorologiche future.

7.2 Aermod view: Gli input progettuali

7.2.1 L'infrastruttura di progetto

L'intervento sull'asse stradale riguarda l'interramento di Viale Leonardo da Vinci da Via Marx a Via Nenni. Le variazioni riguarderanno l'ampliamento della sezione stradale, con quattro corsie, due per ogni senso di

marcia e l'abbassamento della quota del piano stradale. Ciò comporterà un aumento del limite di velocità, da 50 km/h a 70 km/h.

7.2.2 Metodologia di analisi per il calcolo dei fattori di emissione

Come già esplicitato nell'analisi dello scenario attuale, parte centrale del metodo di stima delle concentrazioni è la definizione dei fattori di emissione. La metodologia all'interno del modello Copert lega i fattori di emissione alla velocità media tenuta dai veicoli, attraverso leggi di regressione determinate empiricamente. Tali equazioni dipendono dal veicolo considerato, in termini di legislazione emissiva e tipologia di veicolo (autoveicolo, veicolo commerciale, cilindrata o peso del mezzo ecc.).

Nel caso in esame pertanto, una volta stimata la composizione del parco veicolare futuro è stato poi valutato, attraverso Copert, un fattore di emissione per ciascuna categoria di veicoli, aggregando nei veicoli leggeri gli autoveicoli, motocicli e i veicoli commerciali leggeri, mentre nei veicoli pesanti i veicoli industriali pesanti, i trattori stradali e gli autobus.

A tali categorie sono quindi state associate velocità differenti e fattori di emissione differenti. Effettuando poi la media pesata di tali valori è stato possibile determinare il fattore di emissione medio per la descrizione del parco veicolare complessivo.

7.2.3 Composizione del parco veicolare circolante

Con riferimento al parco veicolare circolante fornito dall'ACI, al fine di valutare un parco futuro in considerazione dell'entrata in esercizio dell'intervento in esame, si è assunto, che le sole classi Euro 0, Euro 1, Euro 2 venissero sostituite, aumentando la numerosità delle Euro 6.

Tale assunto appare cautelativo considerando che lo standard emissivo Euro 2 è stato codificato nel 1995 e pertanto risulta chiaro come un veicolo Euro 2 nel 2025 avrebbe minimo 30 anni.

Le tipologie veicolari che sono state considerate riguardano:

- autovetture, distinte per tipologia di alimentazione;
- veicoli industriali leggeri, distinti per tipologia di alimentazione;
- veicoli industriali pesanti, distinti per tipologia di alimentazione;
- trattori stradali, distinti per tipologia di alimentazione;
- autobus, distinti per tipologia di alimentazione.

Le analisi ed i dati sono riportate al Prg. 6.6 .

7.2.4 Volumi e velocità del traffico circolante

Nel presente paragrafo si forniscono i dati progettuali utilizzati per la stima dei fattori di emissione e per il calcolo delle concentrazioni. Il dato utilizzato per la valutazione dello stato di progetto è accompagnato da una proiezione al 2025 del traffico previsto.

Scenario di Progetto - Anno 2025	Traffico Giornaliero Medio Annuo		
	Veicoli Leggeri	Veicoli Pesanti	Veicoli Totali
Viale Leonardo da Vinci	74.554	5.318	79.872

Tabella 12 Flussi di traffico – configurazione di progetto

Per lo stato attuale si è proceduto alla modellazione in AERMOD view attraverso la simulazione di sorgenti lineari, in grado di riprodurre l'emissione stradale sul tracciato esistente. Il modello dello stato di progetto ha subito delle modifiche, nei riguardi delle sorgenti considerate, funzione dello sviluppo del nuovo tracciato. In particolare, le sorgenti lineari riguardano i tratti di progetto fuori dalla galleria mentre per il tratto restante sono state inserite due sorgenti areali. Infatti, laddove il progetto si sviluppa in galleria, la strada emette solo in prossimità degli imbocchi della stessa.

7.2.5 I fattori di emissione

Come definito nei paragrafi precedenti, dalla conoscenza della tipologia di parco veicolare circolante e dalla velocità è stato possibile determinare un fattore di emissione per ogni inquinante. In particolare, una volta analizzato il parco veicolare in previsione al 2025, si è ricavata la percentuale di veicoli per ogni tipologia, da cui si sono ottenuti i traffici orari. Infine si è effettuata una media pesata tra i TOM e il valore di emissione ottenuto come output da Copert,, ottenendo un unico fattore di emissione per ciascun inquinante.

Nella tabella seguente sono riportati i fattori di emissione relativi all'NO₂, al CO, al PM10, al PM2.5 e al Benzene, in funzione della velocità.

Come per lo scenario attuale, per la configurazione attuale nelle seguenti tabelle sono riportati:

- i traffici orari derivanti dallo studio del traffico e adattati sulle classi veicolari utilizzate per il calcolo delle emissioni;
- la velocità media di percorrenza;
- i fattori di emissione pesati sui traffici orari specifici per ogni inquinante, espressi in g/km*veic (Tabella 14) e in g/km*s (Tabella 15).

Strada	Velocità media [km/h]	Traffico leggero			Traffico pesante	
		T.O.M. autovetture [veh/h]	T.O.M. motocicli [veh/h]	T.O.M. veicoli leggeri [veh/h]	T.O.M. veicoli comm. pesanti [veh/h]	T.O.M. autobus [veh/h]
Viale Leonardo da Vinci	70	2.054	315	261	132	22

Tabella 13 Transiti orari per classe veicolare e velocità media – configurazione di progetto

Strada	NO _x g/(km*veic)	NO ₂ g/(km*veic)	CO g/(km*veic)	PM10 g/(km*veic)	PM2.5 g/(km*veic)	Benzene g/(km*veic)
Viale L. da Vinci	0,347	0,103	1,167	0,022	0,015	0,003

Tabella 14 Transiti orari per classe veicolare e velocità media – configurazione di progetto

Strada	NO _x g/(km*s)	NO ₂ g/(km*s)	CO g/(km*s)	PM10 g/(km*s)	PM2.5 g/(km*s)	Benzene g/(km*s)
Viale L. da Vinci	0,268	0,095	0,902	0,017	0,012	0,00243

Tabella 15 Emissioni per km di strada - configurazione di progetto

7.3 I dati di output delle simulazioni

Così come per lo stato attuale, nello scenario di progetto, dopo aver completato la fase di modellazione dell'input, è stato possibile ottenere l'output del modello. Anche in questo caso l'output ha permesso di determinare i livelli di concentrazione relativi ai principali inquinanti generati dalla sorgente stradale:

- Ossidi di Azoto NO_x;
- Biossido di Azoto NO₂;
- Monossido di Carbonio CO;
- Particolato PM10;
- Particolato PM2.5;
- Benzene C₆H₆.

Per la rappresentazione grafica delle concentrazioni medie annue è possibile far riferimento ai seguenti elaborati, specifici per ogni inquinante analizzato:

04.09_P00_IA31_AMB_CT07_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NO _x - Post-operam
04.10_P00_IA31_AMB_CT08_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - CO - Post-operam
04.11_P00_IA31_AMB_CT09_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - Benzene - Post-operam
04.12_P00_IA31_AMB_CT10_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM10 - Post-operam
04.13_P00_IA31_AMB_CT11_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM 2.5 - Post-operam
04.47_P00_IA31_AMB_CT15_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NO ₂ - Post-operam

8 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO

Di seguito si descrivono i risultati relativi all'impatto ambientale conseguente alla realizzazione della galleria su Viale Leonardo da Vinci. I risultati delle simulazioni della dispersione di inquinanti in atmosfera relativi allo stato attuale e allo stato di progetto sono rappresentati nelle mappe di concentrazione in aria al livello del suolo relative per i diversi inquinanti:

04.04_P00_IA31_AMB_CT02_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NOx - Ante-operam
04.05_P00_IA31_AMB_CT03_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - CO - Ante-operam
04.06_P00_IA31_AMB_CT04_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - Benzene - Ante-operam
04.07_P00_IA31_AMB_CT05_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM 10 - Ante-operam
04.08_P00_IA31_AMB_CT06_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM 2.5 - Ante-operam
04.09_P00_IA31_AMB_CT07_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NOx - Post-operam
04.10_P00_IA31_AMB_CT08_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - CO - Post-operam
04.11_P00_IA31_AMB_CT09_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - Benzene - Post-operam
04.12_P00_IA31_AMB_CT10_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM10 - Post-operam
04.13_P00_IA31_AMB_CT11_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - PM 2.5 - Post-operam
04.46_P00_IA31_AMB_CT14_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NO ₂ - Ante-operam
04.47_P00_IA31_AMB_CT15_A	Mappa delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare - NO ₂ - Post-operam

Per ricettori si intendono, in generale, quegli edifici ubicati lungo gli assi stradali che sono rappresentativi di aree potenzialmente disturbate e caratterizzati dalla presenza di uno o più gruppi di abitazioni. Con riferimento alla componente atmosfera, poiché il livello di inquinamento è fortemente soggetto alle condizioni meteorologiche, si farà riferimento alle concentrazioni medie per una determinata area sia essa urbana o a carattere naturalistico.

Per i principali inquinanti atmosferici, al fine di salvaguardare la salute e l'ambiente, la normativa relativa alla qualità dell'aria stabilisce limiti di concentrazione a cui attenersi (vedi *Tabella 1*).

In generale le mappe di concentrazione relative ai diversi inquinanti mostrano una situazione ante operam in cui l'impatto sulla componente atmosferica riguarda tutto l'asse stradale preso in esame, compreso gli edifici ubicati lungo di essa, specie la parte sud ovest che si trova sottovento ma che risulta in buona parte zona industriale seppur con qualche area residenziale.

Nello scenario post operam, a seguito della costruzione della galleria, molti ricettori sensibili ne traggono beneficio, essendo le emissioni concentrate in soli due punti (quelle di ingresso in galleria).

Monossido di carbonio

Nello stato ante operam, in cui vengono considerati i flussi di traffico veicolari dello stato attuale, il livello di inquinamento atmosferico nella zona urbana presenta valori massimi di concentrazione dell'ordine di qualche centinaia di $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il rapporto di tali valori rispetto al limite di legge è di qualche punto percentuale rappresentando, quindi, valori molto inferiori al limite normativo. I valori massimi si riscontrano nell'intorno dell'asse stradale e decrescono molto rapidamente allontanandosi da esso.

Per lo scenario PO è lecito attendersi una riduzione delle concentrazioni nell'area a ridosso del tunnel stradale e un localizzato incremento delle stesse in corrispondenza degli imbocchi. I valori di concentrazione attesi risultano comunque dello stesso ordine di grandezza di quelli allo stato ante operam e quindi ben al di sotto dei limiti di legge.

Particolato PM10 e PM2.5

Le mappe di concentrazione del PM10 e PM2.5 mostrano una situazione del tutto analoga a quella del monossido di carbonio. Nello scenario attuale il maggiore inquinamento atmosferico è localizzato nell'area di Viale Leonardo da Vinci oggetto di studio, con valori massimi di concentrazione di circa 11 e 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rispettivamente per il PM10 e PM2.5: entrambi rappresentano circa il 30% del proprio limite normativo.

Nello scenario post operam i valori massimi di concentrazione restano sostanzialmente invariati ma sono circoscritti alla zona di ingresso ed uscita della galleria, con un netto miglioramento della situazione, già in partenza buona, a ridosso del tunnel. Pertanto anche per lo scenario futuro è lecito attendersi la conformità ai limiti di legge.

Benzene

Nella situazione ante operam l'area urbana nei pressi dell'asse stradale è coinvolta dall'inquinamento da benzene con concentrazioni massime che, in alcuni punti, è lecito attendersi intorno ad 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, concentrazione decisamente inferiore rispetto al limite di legge di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Anche per il benzene, lo scenario post operam conferma quanto già notato per i precedenti inquinanti: i valori massimi di concentrazione restano sostanzialmente invariati ma sono circoscritti alla zona di ingresso ed uscita della galleria, con un netto miglioramento della situazione, già in partenza buona, a ridosso del tunnel. Pertanto, anche per lo scenario futuro è lecito attendersi la conformità ai limiti di legge.

NOx

Le mappe di NOx mostrano per lo stato ante operam un inquinamento atmosferico diffuso e localizzato soprattutto a ridosso dell'asse stradale con concentrazioni massime che possono raggiungere valori superiori ai 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lungo Viale Leonardo da Vinci sono presenti numerosi ricettori costituiti anche da edifici residenziali. Le simulazioni mostrano che su questi ricettori è lecito attendersi concentrazioni che superano il limite di 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, imposto dalla normativa per la protezione della vegetazione.

Rispetto allo scenario di inquinamento diffuso lungo l'asse stradale presente allo stato ante operam, per lo scenario PO è lecito attendersi una riduzione delle concentrazioni nell'area a ridosso del tunnel stradale e un localizzato incremento delle stesse in corrispondenza degli imbocchi.

NO₂

Le mappe di NO₂ mostrano per lo stato ante operam un inquinamento atmosferico diffuso e localizzato soprattutto a ridosso dell'asse stradale, dove sono presenti numerosi ricettori costituiti anche da edifici residenziali, con concentrazioni massime che possono raggiungere valori dell'ordine di 30-35 µg/m³.

Rispetto allo scenario di inquinamento diffuso presente lungo l'asse stradale allo stato ante operam, per lo scenario PO è lecito attendersi una riduzione delle concentrazioni nell'area a ridosso del tunnel stradale e un localizzato incremento delle stesse in corrispondenza degli imbocchi laddove è lecito attendersi concentrazioni prossime al valore limite di 40 µg/m³ (valore limite normativo).

9 LE INTERFERENZE IN FASE DI CANTIERE

9.1 Gli input territoriali

9.1.1 I dati orografici

Come per le simulazioni in fase di esercizio, anche per la valutazione delle interferenze in fase di cantiere è stato utilizzato il software Aermod View. Questo, grazie al processore territoriale AERMAP, permette di configurare l'orografia del territorio in esame. Come per le precedenti simulazioni, con riferimento all'area di intervento, in cui avvengono i lavori di cantierizzazione per la realizzazione della nuova galleria in oggetto, si è adottata una conformazione del territorio di tipo "flat terrain".

9.1.2 I dati meteorologici

Un altro input fondamentale per l'applicazione del modello di simulazione in Aermod è il dato meteorologico. Come già detto in precedenza, al fine di realizzare un dato compatibile con il preprocessore AERMET, il dato grezzo della centralina di Prato Università è stato elaborato e trasformato in formato SAMSON. Pertanto, come dato meteorologico di riferimento per le simulazioni della fase di cantiere sono stati considerati gli stessi dati utilizzati per le simulazioni della fase di esercizio, ossia gli ultimi dati disponibili registrati dalla centralina nell'anno 2018.

9.2 Gli input progettuali

9.2.1 La metodologia del worst case scenario

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

Una volta valutati gli scenari è possibile fare riferimento ad uno o più scenari, ritenuti maggiormente critici.

9.2.2 La definizione delle sorgenti emissive di cantiere

Nel caso in esame relativo alla realizzazione della galleria su Viale Leonardo da Vinci, la cantierizzazione è prevista in tre fasi:

1. Fase di realizzazione delle paratie;

2. Fase di demolizione dell'opera esistente con asportazione del rilevato e scavo della nuova galleria;
3. Fase di ricoprimento della galleria con il terreno.

Ciascuna fase è composta da un "Fronte Avanzamento Lavori" e dal "Cantiere Operativo" per la gestione dell'area di stoccaggio terre.

Per ognuno degli scenari suddetti sono stati calcolati i fattori di emissione, riportati nella tabella seguente.

PRIMO SCENARIO				
REALIZZAZIONE DELLE PARATIE			CANTIERE OPERATIVO	
PM 10	2,323	kg/giorno	0,197	kg/giorno
PM2,5	1,321	kg/giorno	0,039	kg/giorno
PM 10	2,52		kg/giorno	
PM2,5	1,36		kg/giorno	
SECONDO SCENARIO				
DEMOLIZIONE DEL RILEVATO E SCAVO			CANTIERE OPERATIVO	
PM 10	91.07	kg/giorno	0,80	kg/giorno
PM2,5	10.87	kg/giorno	0,16	kg/giorno
PM 10	91.87		kg/giorno	
PM2,5	11.03		kg/giorno	
TERZO SCENARIO				
RICOPRIMENTO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE			CANTIERE OPERATIVO	
PM 10	53,71	kg/giorno	0,20	kg/giorno
PM2,5	5,36	kg/giorno	0,04	kg/giorno
PM 10	53,92		kg/giorno	
PM2,5	5,40		kg/giorno	

Tabella 16 Fattori di emissione per ciascuno scenario

Considerato che le attività più critiche per la componente atmosferica sono rappresentate principalmente dai movimenti di terra e dal trasporto della stessa per mezzo di veicoli pesanti, dalla Tabella 16 risulta evidente come lo scenario preso in considerazione per la simulazione modellistica della fase di cantiere sia il secondo. Con riferimento alla relazione di cantierizzazione è stato possibile identificare la configurazione peggiore in termini di inquinamento atmosferico, caratterizzata dalle seguenti attività:

- Attività di demolizione del rilevato e sbancamento per la realizzazione della galleria
- Carico del materiale nei pressi del fronte di scavo della galleria
- Trasporto su strada non asfaltata
- Scarico e carico del materiale scavato nell'area di stoccaggio
- Erosione del vento sui cumuli presenti dell'area di stoccaggio;

- Allontanamento del materiale su terreno asfaltato.

In funzione della localizzazione delle sorgenti e della contemporaneità delle lavorazioni maggiormente interferenti con la componente atmosferica, lo scenario oggetto delle simulazioni modellistiche in fase di cantiere è caratterizzato dalle sorgenti areali dell'area di stoccaggio e dell'area lineare della strada su cui si lavora in cui sono previste contemporaneamente, in via cautelativa, attività di scavo, di carico e scarico del materiale, la possibile erosione del vento sui cumuli depositati ed il trasporto del materiale scavato.

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

Lo scenario simulato, pertanto, possiede le seguenti caratteristiche.

Sorgenti areali		Attività di cantiere
Codice	Area	
C.O.	Cantiere Operativo	Carico e scarico del materiale Erosione del vento sui cumuli Trasporto su terreno pavimentato
F.A.L.	Fronte Avanzamento Lavori	Frantumazione del materiale Carico del materiale Trasporto su terreno non pavimentato

Tabella 17 Caratteristiche scenario simulato

Relativamente alla sorgente C.O., questa è caratterizzata dall'intera area di stoccaggio, avente superficie complessiva pari a circa 2.500 m². In merito alla sorgente F.A.L. caratterizzata dall'area di lavoro, è stata considerata una superficie lunga 1 km e larga 30 m.

In relazione alle attività previste, dalle quali vengono generate le emissioni polverulente, sarà effettuata la stima dei fattori di emissione, per i quali si rimanda al Par. 9.4, che rappresentano uno degli input principali per l'applicazione del modello di simulazione.

Si specifica come per tali attività di movimentazione di terra verranno valutati come inquinanti le polveri (PM10 e PM2.5), tralasciando gli altri inquinanti di poco interesse per la tipologia di sorgente individuata.

9.2.3 Il traffico di cantiere

I collegamenti reciproci tra i siti di conferimento e le aree di cantiere avverranno esclusivamente attraverso la viabilità esistente, senza la necessità di realizzare nuove piste di cantiere.

Considerando che i quantitativi da movimentare, che generano il principale impatto in termini di viaggi/giorno, sono addebitabili soprattutto ai volumi di scavo della galleria, il traffico di cantiere giornaliero è stato stimato a partire dal volume giornaliero scavato per la realizzazione della galleria e dall'ipotesi di utilizzo per il trasporto di materiale, di automezzi senza rimorchio (lunghezza massima di 12 m), con una capacità di carico ognuno, pari a 16 m³.

Considerando quindi, una produttività di 1500 m³/giorno e una portata dei camion pari a 16 m³, saranno necessari circa 95 veicoli/giorno, ossia 12 veicoli/ ora considerando circa 8 ore lavorative al giorno in cui avviene il trasporto di materiale.

9.3 La metodologia di riferimento

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 "attive", permette il calcolo delle emissioni di inquinanti totali "uscenti" dalla sorgente.

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

Nei seguenti paragrafi, verranno calcolati i singoli fattori di emissione relativi al PM10 e al PM2.5 (principali inquinanti generati dalle attività di cantiere), in relazione alle attività di cantiere ritenute critiche per l'inquinamento atmosferico.

9.4 I fattori di emissione

Nel seguente paragrafo verrà trattato in maniera approfondita il calcolo dei fattori di emissione per lo scenario suddetto, valutando il contributo di ciascuna fase all'impatto atmosferico correlato alla polverosità indotta su tutto il periodo di lavorazione.

Le emissioni di inquinanti sono dovute sia a sorgenti lineari che areali. Fra le prime è possibile riconoscere strade di cantiere percorse dagli autoveicoli e dai mezzi pesanti per il trasporto del materiale scavato; le seconde sono costituite dalle zone di deposito.

Le emissioni che si originano dalle strade dipendono essenzialmente dal numero e dal peso dei mezzi che vi transitano oltre che dal tipo di ricoprimento della strada stessa. Le emissioni che derivano dagli accumuli di inerti sono dovute al vento, che, quando assume particolare intensità è in grado di risospingere la frazione fine del materiale depositato.

La trattazione verrà svolta valutando separatamente la fase di Fronte Avanzamento Lavori e il Cantiere Operativo.

Per la fase di F.A.L avremo i seguenti fattori di emissione:

- Scavo [codice EPA 11.9.2]
- Carico [codice EPA13.2.4]

- Trasporto su strada non pavimentata [codice EPA13.2.2]

Per la fase di C.O. invece:

- Scarico e carico codice [EPA 13.2.4]
- Trasporto su strada pavimentata [codice EPA 13.2.1]
- Erosione del vento sui cumuli [codice EPA13.2.5]

9.4.1 I fattori di emissione relativi alla fase di demolizione e scavo

Per il calcolo del fattore di emissione dovuto all'attività di scavo da parte dei bulldozer si è ritenuta idonea la formulazione dell'EPA al capitolo 11.9.2 "Bulldozing Overburden" . L'equazione è la seguente :

$$EF_{PM10} = 0.45 * 0.75 * \frac{(s)^{1.5}}{(M)^{1.4}} \quad [kg/h]$$

$$EF_{PM2.5} = 2.6 * 0.105 * \frac{(s)^{1.2}}{(M)^{1.3}} \quad [kg/h]$$

Dove:

- s è il contenuto di silt (limo) espresso in %
- M è il contenuto di umidità espresso in %

Per i valori di s e M si è fatto riferimento alla tabella del documento EPA riportata qui sotto, scegliendo come fonte Overburden, in particolare:

- s= 8.6 %
- M= 10.4 %

Table 11.9-3 (Metric And English Units). TYPICAL VALUES FOR CORRECTION FACTORS APPLICABLE TO THE PREDICTIVE EMISSION FACTOR EQUATIONS³

Source	Correction Factor	Number Of Test Samples	Range	Geometric Mean	Units
Blasting	Area blasted	17	100 - 6,800	1,590	m ²
	Area blasted	17	1100 - 73,000	17,000	ft ²
Coal loading	Moisture	7	6.6 - 38	17.8	%
Bulldozers	Coal	Moisture	4.0 - 22.0	10.4	%
		Silt	6.0 - 11.3	8.6	%
Overburden	Moisture	8	2.2 - 16.8	7.9	%
	Silt	8	3.8 - 15.1	6.9	%
Dragline	Drop distance	19	1.5 - 30	8.6	m
	Drop distance	19	5 - 100	28.1	ft
Scraper	Moisture	7	0.2 - 16.3	3.2	%
	Silt	10	7.2 - 25.2	16.4	%
	Weight	15	33 - 64	48.8	Mg
	Weight	15	36 - 70	53.8	ton
Grader	Speed	7	8.0 - 19.0	11.4	kph
	Speed		5.0 - 11.8	7.1	mph
Haul truck	Silt content	61	1.2 - 19.2	4.3	%
	Moisture	60	0.3 - 20.1	2.4	%
	Weight	61	20.9 - 260	110	mg
	Weight	61	23.0 - 290	120	ton

Tabella 18 Valori tipici di limo e umidità

Applicando la formulazione precedente, le emissioni di PM10 e PM2. risultano pari rispettivamente a 0,0297 g/s e 0,0233 g/s.

9.4.2 I fattori di emissione relativi al carico sul Fronte Avanzamento Lavori

Nel presente paragrafo vengono calcolati i fattori di emissione generati dalle attività previste nell'area del Fronte Avanzamento Lavoro, ossia le attività di carico del materiale scavato.

Con riferimento alle attività in esame è stata applicata la formulazione fornita dall'E.P.A. 13.2.4 relativa alle attività di carico e scarico, di seguito riportata.

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

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

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

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)

<30 µm	<15 µm	<10 µm	<5 µm	<2.5 µm
0,74	0,48	0,35	0,20	0,053

Tabella 19 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 20 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 pari a 1.2 m/s (valore desunto dall'analisi meteorologica);
- M = percentuale di umidità considerata pari a 4,8% per i rilevati tradizionali;
- k = pari a 0,35 per considerare l'apporto del PM10 e 0,053 per considerare l'apporto del PM2.5.

Applicando la formulazione sopra indicata ed ipotizzati circa 1500 m³/giorno scavati da portare all'area di stoccaggio, le emissioni di PM10 e PM2.5 generate dall'attività considerata all'interno del cantiere in esame risultano pari rispettivamente a 0,002g/s e 0,0003 g/s.

9.4.3 I fattori di emissione relativi al trasporto su strada non pavimentato sul Fronte Avanzamento Lavori

All'interno del cantiere viene preso in considerazione il sollevamento delle polveri originato dall'azione di polverizzazione del materiale superficiale delle piste, indotta dalle ruote dei mezzi. Tale attività può essere schematizzata attraverso la formulazione dell'EPA 13.2.2 qui riportata:

$$EF = k(s/12)^a * (W/3)^b \quad [g/VKT]$$

Dove:

- s= contenuto di silt in %
- W= peso medio dei mezzi sul cantiere
- K, a , b dipendono dalla dimensione del particolato considerato, facendo riferimento alla tabella sottostante

	PM 2,5	PM 10	PM 30
K	0,15	1,5	4,9
a	0,9	0,9	0,7
b	0,45	0,45	0,45

Tabella 21 Coefficienti di K, a, b

Essendo il coefficiente espresso in VKT (veicolo per km percorso), considerato che ciascun camion percorre 1km A/R, cioè 190 km/giorno percorsi dall'intera flotta veicolare del cantiere, i fattori di emissione saranno: 1.249 g/s per il PM10 e 0.124 g per il PM2.5.

9.4.4 I fattori di emissione relativi al carico e scarico del materiale nel cantiere operativo

Analogamente a quanto già riferito nel Par. 9.4.2, restando invariate le condizioni al contorno, cioè produttività e velocità del vento, i coefficienti di emissioni per il PM10 e PM2.5 sono i medesimi e rispettivamente: 0,002g/s e 0,0003 g/s, sia per la fase di carico che di scarico.

9.4.5 I fattori di emissione relativi all'erosione del vento sui cumuli nel cantiere operativo

All'interno dell'area 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 22 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.

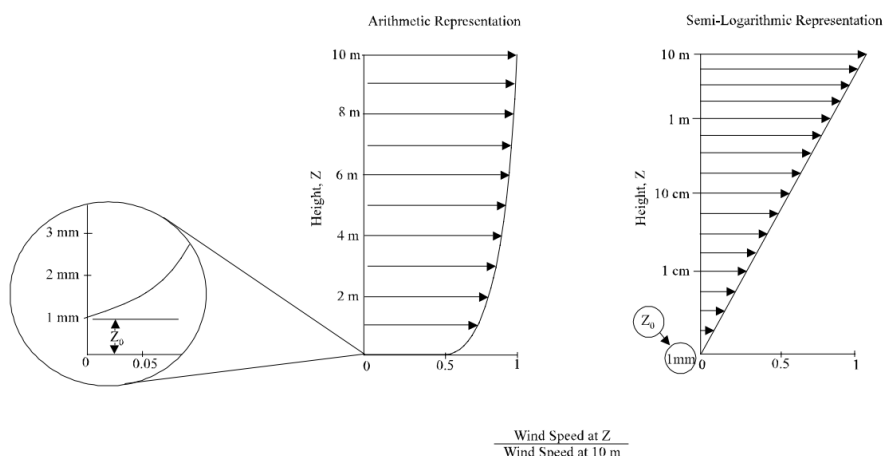


Figura 34 Illustrazione del profilo logaritmico della velocità (Fonte: EPA AP42)

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

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

Da tale espressione si evince come ci sia erosione potenziale solo qualora la velocità d'attrito superi il valore soglia. Per la determinazione di tale valore il modello individua una procedura sperimentale (cfr. 1952 laboratory procedures published by W. S. Chepil). Tuttavia, in mancanza di tali sperimentazioni è possibile fare riferimento ad alcuni risultati già effettuati e riportati in *Tabella 23*.

Material	Threshold		Roughness Height (cm)	Threshold Wind Velocity At 10 m (m/s)	
	Friction (m/s)	Velocity (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 23 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 5 metri, hanno bisogno di una correzione, secondo la seguente legge:

$$u_{10}^+ = u^+ * [\ln (10/0.005)/\ln (z/0.005)]$$

in cui u_{10}^+ è la massima intensità misurata nell'arco della giornata attraverso i dati sopracitati, ad un'altezza dell'anemometro pari a 10 m.

A questo punto è possibile determinare u^* utilizzando la relazione:

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

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

Dall'analisi dei risultati emerge come u^* assuma valori soglia in due casi.

Determinati tutti i parametri è pertanto possibile calcolare il valore del fattore di emissione con le formule viste in precedenza.

N°	U^* [m/s]	U_t^* [m/s]	P	Valore P[g/m ²]
1	1.07	1.02	$P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*)$	1.67
2	1.03	1.02	$P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*)$	0.47

Tabella 24 Valore di P

I fattori di emissione relativi al PM10 e al PM2.5 sono stati stimati applicando la formula sottostante in cui k è stato preso pari a 0,5 considerando le dimensioni del PM10 e pari a 0,075 considerando il PM2.5.

$$EF_{PM10} = k \sum_{i=1}^N P_i = 1,07 [g/m^2]$$

$$EF_{PM2.5} = k \sum_{i=1}^N P_i = 0.16 [g/m^2]$$

Al fine di ricavare il fattore di emissione espresso in g/s, come richiesto dal software, è necessario sapere l'area in cui sono presenti tali cumuli, considerata cautelativamente pari all'intera superficie di 2500 m². Pertanto, i fattori di emissione per il PM10 ed il PM2.5 risultano rispettivamente pari a 0,000085 g/s e 0,000013 g/s.

9.4.6 I fattori di emissione relativi al trasporto su strada non pavimentato nel cantiere operativo

Il materiale scavato viene depositato all'interno del cantiere operativo e per svolgere tale operazione i veicoli percorrono all'incirca 100 m A/R su strada pavimentata. Altrettanti metri percorreranno per allontanare tale materiale dal cantiere. In totale si stimano 38 km/giorno.

Il fattore di emissione rappresentativo di queste attività ci è fornito dal già menzionato documento dell'EPA, al capitolo 13.2.1 con la seguente equazione:

$$EF = k * (sL)^{0.91} * (W)^{1.02} \quad [g/VKT]$$

Il valore di K è pari a 0.62 per il PM10 e 0.15 per il PM2.5, sL rappresenta il contenuto di limo presente sul fondo stradale espresso in [g/m²] e W è il peso medio dei veicoli di cantiere espresso in tonnellate.

Considerando un valore di limo di 0.6 g/m² e un peso medio di 28 t, i fattori di emissione saranno: 0.005 g/s per il PM10 e 0.001 per il PM2.5.

9.5 I fattori di emissione medi calcolati per le sorgenti

Alla luce dei fattori di emissione calcolati ai paragrafi precedenti e considerando, in via cautelativa, la contemporaneità di queste attività, è stato stimato un fattore di emissione medio per ogni sorgente dato dalla somma dei fattori di emissione medi calcolati in relazione ad ogni attività di cantiere sopra definita.

In definitiva per la Fase di demolizione dell'opera esistente con asportazione del rilevato e scavo della nuova galleria, i fattori di emissione medi da associare alle due sorgenti in esame sono:

Sorgenti	Fattore emissione PM10	Fattore emissione PM2.5
FAL	1.01 g/s	0.1 g/s.
CO	0.009 g/s	0.001g/s

Tabella 25 Fattori di emissione medi per ogni sorgente simulata

9.6 Il ricettore di riferimento

Al fine di poter valutare la protezione della salute umana durante la fase di cantiere, si è fatto riferimento ad un punto ricettore rappresentativo dell'edificio più vicino al cantiere che potrebbe essere maggiormente esposto all'inquinamento atmosferico. Perciò è stato individuato, in prossimità della viabilità attuale, una scuola, avente coordinate:

- x = 1667587,25
- y = 4859905,33

Nella figura che segue, è riportata la rappresentazione del ricettore in giallo e del cantiere in rosso:



Figura 35 Rappresentazione del ricettore e del cantiere

9.7 I dati di output delle simulazioni

Con riferimento alle polveri PM10 e PM2.5 si è analizzato il contributo delle due sorgenti, considerando la sovrapposizione degli effetti, quindi analizzate in contemporanea. In particolare, è stato possibile determinarne il contributo totale delle sorgenti simulate. Per quanto riguarda la rappresentazione cartografica dei valori delle medie giornaliere delle concentrazioni di PM10 e PM2.5 è possibile far riferimento agli elaborati P00IA31AMBCT12A "Fase di cantiere - Scenario critico - Mappa delle concentrazioni di inquinanti - PM 10" e P00IA31AMBCT13A "Fase di cantiere - Scenario critico - Mappa delle concentrazioni di inquinanti - PM 2.5".

Dall'analisi dell'elaborato si evince che è lecito ritenere che durante la fase critica di cantiere i livelli di concentrazione delle PM10 e del PM2.5 superino i relativi valori di riferimento in corrispondenza degli edifici posti a ridosso dell'asse stradale.

Con riferimento al ricettore C1, i valori di concentrazione attesi di PM10, e di PM2.5, sono riportati in *Tabella 26*.

Concentrazioni di inquinanti	C1
media giornaliera PM ₁₀	50 µg/m ³
media giornaliera PM _{2,5}	7 µg/m ³

Tabella 26 Valori di concentrazione PM10 e PM2.5 calcolati sul ricettore C1

Anche la precedente tabella evidenzia una possibile criticità in termini di PM10 nei pressi del ricettore C1.

9.8 Best practice per il cantiere

Al fine di ridurre la dispersione delle polveri in atmosfera, si prevedono, durante lo svolgimento delle attività, alcune *best practice* finalizzate, appunto, ad abbattere le concentrazioni di PM10 e PM2.5, nonché a ridurre le emissioni generate dai mezzi di cantiere.

Tra queste misure si evidenzia:

- utilizzare, per le macchine di cantiere, filtri di abbattimento del particolato, nonché gruppi elettrogeni e di produzione di calore in grado di assicurare le massime prestazioni energetiche e minimizzare le emissioni; impiegare inoltre, ove possibile, apparecchi con motore elettrico;
- limitare la velocità di scarico del materiale al fine di evitare lo spargimento di polveri; il materiale verrà depositato gradualmente modulando l'altezza del cassone e mantenendo la più bassa altezza di caduta;
- ottimizzare il carico dei mezzi di trasporto al fine di ridurre il numero dei veicoli in circolazione;
- applicare appositi teloni di copertura degli automezzi durante l'allontanamento e/o l'approvvigionamento di materiale polverulento per garantire il contenimento della dispersione di polveri in atmosfera;
- umidificare i depositi di materiale sciolto caratterizzati da frequente movimentazione, e coprire con teli e stuoie quelli con scarsa movimentazione;
- Bagnamento delle piste di cantiere non pavimentate.

9.8.1 Misure di contenimento delle polveri nella fase di transito su strada non pavimentata

Dalle stime ottenute, pur considerando il carattere temporaneo delle emissioni e delle assunzioni cautelative adottate nelle simulazioni modellistiche, risulta necessario prevedere, durante lo svolgimento delle attività, una serie di misure finalizzate al contenimento dei valori di concentrazione di PM10 e PM2.5; in particolare durante la fase di transito dei veicoli su strada non pavimentata.

Le misure di controllo e abbattimento proposte nel documento dell'EPA, al fine di contenere la produzione di polveri generata dal passaggio dei mezzi di cantiere, prevede il trattamento della superficie- bagnamento (*wet suppression*) e trattamento chimico (*dust suppressants*). I costi sono moderati, ma richiedono applicazioni periodiche e costanti. Inoltre bisogna considerare un sistema di monitoraggio per verificare che il trattamento venga effettuato.

L'efficienza di abbattimento è proporzionale al contenuto di umidità, secondo l'andamento sperimentale della curva mostrata in *Figura 36* in cui l'efficienza di controllo è calcolata in base al rapporto del contenuto di

umidità M tra strada trattata (bagnata) e non trattata (asciutta). M è calcolabile secondo le indicazioni di appendice C.1 e C.2 dell'AP-42. Come è prevedibile più il terreno è asciutto minore è l'efficienza di rimozione. Per avere un coefficiente di abbattimento almeno del 75% è necessario un rapporto bagnato/ asciutto pari a 2.

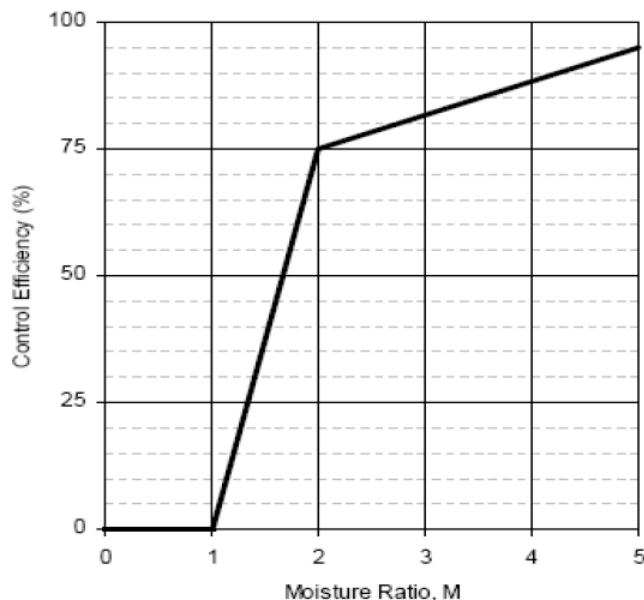


Figura 36 Andamento dell'efficienza di abbattimento delle emissioni in funzione del contenuto di umidità del suolo

Per raggiungere una determinata efficienza media di bagnatura si può agire sia sulla frequenza delle applicazioni, sia sulla quantità di acqua per unità di superficie impiegata in ogni trattamento, in relazione al traffico medio orario e al potenziale medio di evaporazione, utilizzando la formula proposta da Cowherd et al (1998):

$$C(\%) = 100 - (0.8 * P * trh * T) / I$$

Dove:

- C efficienza di abbattimento del bagnamento (%)
- P potenziale medio dell'evaporazione giornaliera (mm/h)
- trh traffico medio orario (h^{-1})
- I quantità media del trattamento applicato (l/m^2)
- T Intervallo di tempo che intercorre tra le applicazioni (h)

L'efficienza media della bagnatura deve essere superiore al 90%.

L'uso di sostanze chimiche, come polimeri a base d'acqua, richiede un'applicazione meno frequente, ma bisogna considerare che può produrre una variazione nel contenuto di particolato della strada con un

aumento del contenuto di limo. L'efficienza effettiva di questo tipo di controllo dipende da molti fattori ed è in generale difficile da stimare. In caso di utilizzo di sostanze chimiche si richiede di fornire i dati riportati nella scheda tecnica del prodotto utilizzato. Da passate campagne di misurazione effettuate dall'US-EPA risulta che l'efficienza per il PM10 si aggira intorno all'80% con applicazioni regolari effettuate ad intervalli compresi tra 2 settimane ed 1 mese.

9.9 I dati di output delle simulazioni con mitigazioni

Utilizzando al meglio le best practice di cantiere è possibile avere una notevole riduzione dei fattori di emissione delle polveri. Nello specifico sono stati analizzati gli effetti relativi alla bagnatura delle piste di cantiere non pavimentate, ipotizzando un'efficienza di rimozione delle polveri dell'90%.

Considerando tale riduzione per questa attività di cantiere i fattori di emissione medi da associare alle due sorgenti in esame sono:

Sorgenti	Fattore emissione PM10	Fattore emissione PM2.5
FAL	0.13 g/s	0.03 g/s.
CO	0.009 g/s	0.001g/s

Tabella 27 Fattori di emissione medi per ogni sorgente simulata- con mitigazione

Con riferimento alle polveri PM10 e PM2.5 si è analizzato il contributo delle due sorgenti, considerando la sovrapposizione degli effetti, quindi analizzate in contemporanea. In particolare, è stato possibile determinarne il contributo totale delle sorgenti simulate. Per quanto riguarda la rappresentazione cartografica dei valori delle medie giornaliere delle concentrazioni di PM10 e PM2.5 è possibile far riferimento agli elaborati P00IA31AMBCT12A "Fase di cantiere - Scenario critico - Mappa delle concentrazioni di inquinanti - PM 10" e P00IA31AMBCT13A "Fase di cantiere - Scenario critico - Mappa delle concentrazioni di inquinanti - PM 2.5".

Dall'analisi degli elaborati si evince che, adottando le opportune misure di mitigazione indicate (bagnatura delle piste di cantiere non pavimentate) è lecito ritenere che durante la fase critica di cantiere i livelli di concentrazione delle PM10 e del PM2.5 possano risultare in linea con i valori di riferimento.

Con riferimento al ricettore C1, i valori di concentrazione attesi di PM10, e di PM2.5, sono riportati in *Tabella 28*

Concentrazioni di inquinanti	C1
media giornaliera PM ₁₀	8 µg/m ³
media giornaliera PM _{2.5}	1,65 µg/m ³

Tabella 28 Valori di concentrazione PM10 e PM2.5 calcolati sul ricettore C1 in caso di mitigazione

Anche la precedente tabella evidenzia che, adottando le opportune misure di mitigazione, nei pressi del ricettore C1 è lecito attendersi valori di concentrazione al di sotto dei valori limite.