

**SOGGETTO ATTUATORE - Art.7 D.L. 11 novembre 2016, n. 205 (già art.15 ter del D.L. 17 ottobre 2016, n.189, convertito dalla L. 15 dicembre 2016, n.229)**

ex OCDPC 408 / 2016 - art.4 - OCDPC 475 / 2017 - art.3

**S.S. 260 "Picente"**  
**Lavori di adeguamento e potenziamento della tratta stradale laziale.**  
**2 Lotto - dal km 43+800 al km 41+150**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROGETTAZIONE STRADALE**

Dott. Ingegneri Camillo Andreocci Ord. Prov. di Latina n.A1473

**PROGETTAZIONE STRUTTURE**

Dott. Ingegneri Ilaria Lardani Ord. Prov. di Roma n.A37398

**PROGETTAZIONE GEOTECNICA**

Dott. Geol. Massimo Pietrantonì Ord. Lazio n.A738

**PROGETTAZIONE IMPIANTI**

Dott. Ingegneri Salvatore Giua Ord. della Prov. di Roma n.15959

**RESPONSABILE STUDIO AMBIENTALE**

Dott. Geol. P. Mauri Ord. Geologi Lombardia n.666  
Dott. Ing. R. Abate D. Regione Lombardia 2641/14 T  
Dott. Arch. Laura Tasca Ord. Arch. Paesaggisti Prov. di Bg n. 2410  
Dott. Biol. A. Di Peso Ord. Prov. di Milano n.089989  
Dott. Arch. J. Zaccagna Ord. Prov. di Livorno n.776

**IL GEOLOGO**

Dott. Geol. Massimo Pietrantonì Ord. Lazio n.A738

**ARCHEOLOGIA**

Dott. Grazia Savino l' Fascia D.M. 244 2019 n.3856

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Dott. Ingegneri Camillo Andreocci Ord. Prov. di Latina n.A1473

IMPRESA ESECUTRICE: TOTO S.P.A. COSTRUZIONI GENERALI



DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Camillo Colalonga

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

CAPOGRUPPO MANDATARIA



RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Dott. Ing. Camillo Andreocci  
Ord. della Prov. di Latina n.A1473

MANDANTI



ARCHEOLOGIA

Dott. Grazia Savino  
l' Fascia D.M. 244 2019 n.3856



VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Antonio Aurelj

PROGETTISTA

VISTO PER APPROVAZIONE  
DEL RUP

**12 - STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE**  
**12.07 - ANALISI AMBIENTALE - QUADRO AMBIENTALE**

**STUDIO SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

CODICE PROGETTO			CODICE ELAB.		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO				
-			T00IA00AMBRE03		A	
A	LUGLIO 2023	PRIMA EMISSIONE	C. GRASSI		P. COLOMBO	P. MAURI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO		VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA .....</b>	<b>5</b>
2.1	CENNI DI CLIMATOLOGIA REGIONALE .....	5
2.2	METEOROLOGIA DELLA ZONA DI STUDIO .....	11
<b>3</b>	<b>ANALISI EMISSIVA.....</b>	<b>15</b>
3.1	LE EMISSIONI A LIVELLO NAZIONALE - ISPRA .....	15
3.2	LE EMISSIONI A LIVELLO REGIONALE.....	15
<b>4</b>	<b>QUALITÀ DELL'ARIA .....</b>	<b>22</b>
4.1	INQUADRAMENTO NORMATIVO E LIMITI DI LEGGE .....	22
4.2	ZONIZZAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO PER QUALITÀ DELL'ARIA .....	24
4.3	RETE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA .....	27
<b>5</b>	<b>MODELLI DI DISPERSIONE PER LA FASE DI ESERCIZIO .....</b>	<b>31</b>
5.1	CRITERI CHE CONCORRONO ALLA SCELTA DEL MODELLO .....	31
5.2	VALIDITÀ DEL MODELLO SELEZIONATO .....	33
5.3	CALINE4 .....	33
5.3.1	SCHEMATIZZAZIONE DEL SITO .....	34
5.3.2	EQUAZIONE PER IL CALCOLO DELLA CONCENTRAZIONE .....	36
5.3.3	COEFFICIENTI DI DISPERSIONE VERTICALE ED ORIZZONTALE .....	38
5.4	APPROCCIO METODOLOGICO .....	40
5.4.1	COEFFICIENTI EMISSIVI PER LA FASE DI ESERCIZIO .....	43
5.4.2	RECETTORI .....	43
5.5	RISULTATI.....	45
<b>6</b>	<b>MODELLI DI DISPERSIONE PER LA FASE DI CANTIERE .....</b>	<b>47</b>
6.1	AREE DI CANTIERE .....	47
6.2	STIMA DELLE EMISSIONI .....	47
6.3	MODELLO DI DISPERSIONE .....	55
6.3.1	CALPUFF MODEL SYSTEM .....	55
6.3.2	IMPOSTAZIONI DEL MODELLO DI CALCOLO .....	56
6.4	RISULTATI.....	56

## INDICE DELLE TABELLE E DELLE FIGURE

Figura 1 – Temperatura Media anno 2018 e 2019 .....	6
Figura 2 – Valore medio annuale delle temperature e tipo climatico. (fonte Regione Lazio) .....	7
Figura 3 – Precipitazione cumulata 2018 e 2019 .....	7
Figura 4 Mappa ARSIAL precipitazioni 2022 [ARPAL VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA DELLA REGIONE LAZIO 2022 ].....	8
Figura 5 – umidità relativa 2018 e 2019 .....	9
Figura 6 – Velocità del vento media annua a 25 m (m/s) (Fonte Atlante eolico nazionale) .....	10
Figura 7 Rosa dei venti e frequenza di accadimento delle classi di velocità 2019 e dati statistici rilevati dalla stazione meteorologica di Latina. ....	11
Figura 8 – serie temporale velocità del vento, anno 2022 stazione di Rieti AL005 .....	12
Figura 9 – serie temporale temperatura, anno 2022 stazione di Rieti AL005.....	12
Figura 10 – serie temporale pressione, anno 2022 stazione di Rieti AL005 .....	13
Figura 11 – serie temporale precipitazioni, anno 2022 stazione di Rieti AL005 .....	13
Figura 12 – serie temporale umidità relativa, anno 2022 stazione di Rieti AL005.....	14
Figura 13 – ripartizione delle emissioni della provincia di Latina per macrosettore .....	16
Figura 14 Zonizzazione del territorio regionale del Lazio per tutti gli inquinanti ad esclusione dell'ozono .....	25
Figura 15 Zone del territorio regionale del Lazio per l'ozono. ....	26
Figura 16 Localizzazione stazioni di qualità dell'aria della rete regionale (fonte Arpa Lazio) .....	28
Figura 17 - Schema a blocchi INPUT/OUTPUT del codice CALINE4. ....	34
Figura 18 - Schematizzazione della sorgente in CL4. ....	35
Figura 19 - Caratteristiche geometriche e di circolazione dell'aria in un canyon urbano.....	36
Figura 20 - Schema della dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento. ....	37
Figura 21 - Vista dei piani (x,z) e (x,y) dello schema di dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento. ....	37
Figura 22 -Arco stradale e parametri considerati dal modello CALINE4. ....	42
Figura 23 recettori per il calcolo dell'impatto sulla qualità dell'aria.....	44
Figura 24 aree di cantiere. ....	47

## **1 INTRODUZIONE**

Il presente documento costituisce lo studio relativo alla qualità dell'aria, redatto nell'ambito del Progetto Definitivo SS260 Picente – Lavori di adeguamento e potenziamento della tratta stradale laziale, 2° lotto – dal km 43+800 al km 41+150. La presente relazione è finalizzata alla stima dei valori di immissione verso alcuni ricettori situati nel comune di Amatrice, a corredo dello studio di impatto ambientale per il procedimento di VIA redatto in ottemperanza a quanto previsto dall'art. 22 del D.Lgs 152/2006 e ss.mm.ii.

Le valutazioni eseguite considerano tre differenti scenari, relativi allo stato di fatto (fase Ante Operam), alla situazione futura con esercizio della nuova infrastruttura viaria (fase Post Operam) e al periodo in cui l'opera verrà realizzata e nella quale saranno attivi i cantieri previsti (fase Corso d'Opera).

Gli inquinanti aerodispersi di interesse derivanti dai fattori di emissioni dovuti al traffico veicolare della zona, nello specifico PM10, NO2, CO e Benzene, sono stati calcolati attraverso l'uso di un software di modellazione per la propagazione.

I risultati ottenuti dalla modellizzazione e dalle simulazioni condotte, espressi in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sono stati infine confrontati con i valori limite di riferimento oggi vigenti.

## **2 CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA**

### **2.1 CENNI DI CLIMATOLOGIA REGIONALE**

Il primo step di analisi per lo studio della componente "Atmosfera" è volto alla definizione dei principali parametri meteorologici che influenzano la diffusione delle emissioni di inquinanti nell'atmosfera. Nei paragrafi successivi, infatti, si riporta la caratterizzazione meteoclimatica che fornisce un quadro storico sulle condizioni meteorologiche dell'area di intervento. Gli indicatori analizzati, e i cui valori sono riportati nel paragrafo successivo, sono distinguibili in tre principali categorie: Temperature, Precipitazioni, umidità e Venti. Il territorio regionale del Lazio è costituito da strutture orografiche molto differenti tra loro.

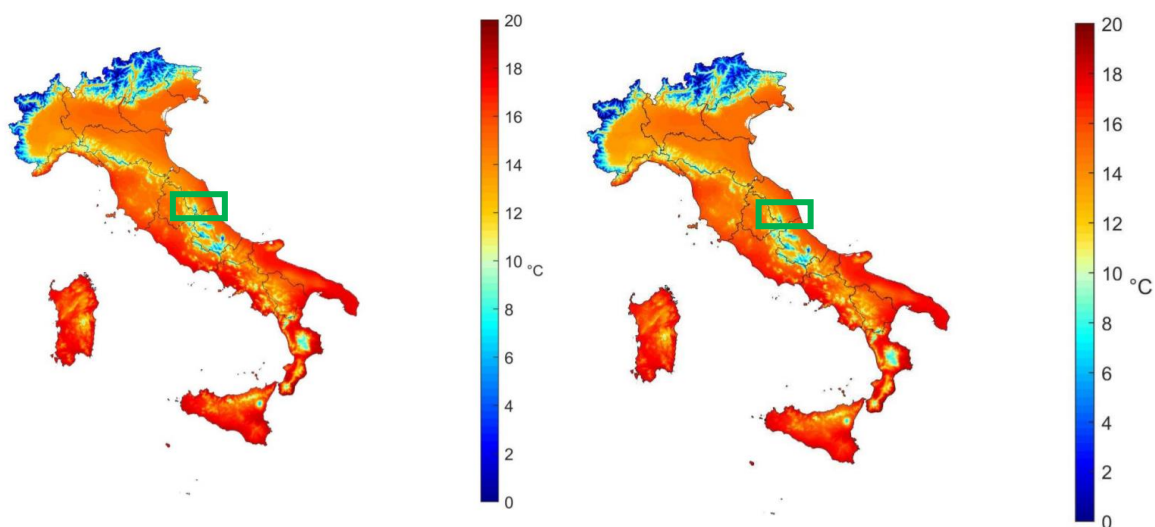
Partendo dal Nord-Ovest della regione, si possono distinguere tre gruppi montuosi di modeste dimensioni: i Volsini, i Cimini ed i Sabatini. Caratteristica comune di questi gruppi montuosi è la loro origine vulcanica, testimoniata, oltre che dagli elementi geologici, dalla presenza, in ciascuno di questi, di un lago: il lago di Bolsena sui Volsini, il lago di Vico sui Cimini ed il lago di Bracciano sui Sabatini. Questi gruppi montuosi degradano dolcemente verso la pianura maremmana ad Ovest, e verso la valle del Tevere ad Est, le due pianure laziali più settentrionali. La Maremma trova qui il suo limite meridionale, nei Monti della Tolfa.

Nella parte orientale del Lazio si trovano i rilievi più alti della regione, che raggiungono con i Monti della Laga, nei 2458m del monte Gorzano, il loro punto più alto. Trattasi, questa, di una piccola porzione degli Appennini, che corre diagonalmente da Nord a Sud comprendendo i rilievi dei monti Reatini, Sabini, Simbruini ed Ernici.

Accanto a questo va considerata l'ampia area costiera che coinvolge tutta la parte ovest del territorio e, chiaramente, l'area metropolitana di Roma che ha un'estensione superiore a 1300 km<sup>2</sup>.

La complessa struttura orografica influisce notevolmente sulle caratteristiche meteorologiche e micrometeorologiche del territorio che sono alla base dei processi di dispersione delle sostanze inquinanti rilasciati in atmosfera.

- Regime termico
- Il clima della regione, presenta una notevole variabilità da zona a zona. Le temperature sono influenzate dalla presenza mitigatrice del Mar Tirreno. La temperatura media annua della regione, infatti, oscilla dai 14 ai 16 °C



2018 fonte : documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2018 – Anno XIV – Stato dell'Ambiente 88/2019"

2019 fonte: documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2019 – Anno XV – Stato dell'Ambiente 94/2020"

**Figura 1 – Temperatura Media anno 2018 e 2019**

Le Estate sono calde con valori che superano diffusamente i 30°C e che in corrispondenza delle ondate di calore spesso raggiungono e superano i 35°C, con le vallate e le pianure interne che tendono ad essere in assoluto le aree con i picchi termici maggiori della Regione. Sui rilievi il clima è mitigato dall'altitudine con nottate fresche e temporali pomeridiani abbastanza frequenti, viceversa lungo le coste sono spesso presenti brezze mitigatrici anche se il tasso di umidità è piuttosto elevato. In Inverno le aree costiere restano abbastanza miti con temperature massime che spesso oltrepassano la soglia dei 10°C e minime quasi sempre maggiori di 0°C. Qui, infatti, gelate e nevicate sono episodiche e le irruzioni di aria artica difficilmente hanno lunga durata. Le zone interne e montuose vedono aumentare la frequenza delle gelate all'aumentare della distanza del mare e della quota fino ad arrivare sulle cime Appenniniche dove in corrispondenza delle ondate di freddo il termometro più scendere anche fino a -20°C.

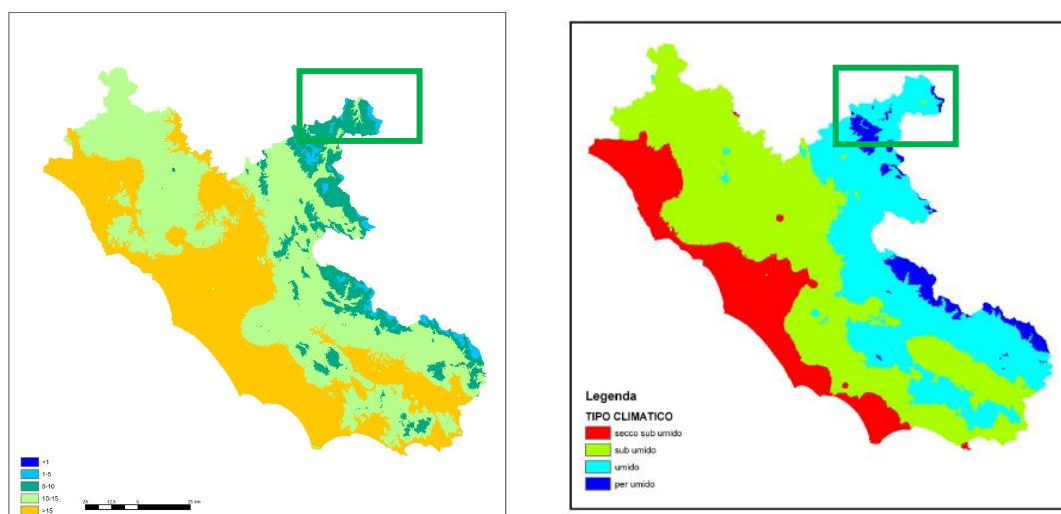


Figura 2 – Valore medio annuale delle temperature e tipo climatico. (fonte Regione Lazio)

- Regime pluviometrico e igrometrico

Le piogge sul Lazio possono considerarsi abbondanti, commisurate alle altre aree a clima Mediterraneo. La piovosità aumenta da Nord verso Sud e procedendo dalle zone costiere verso le zone montuose con l'eccezione di alcune vallate interne chiuse all'influenza marittima. I minimi di piovosità si riscontrano nella pianura Maremmana in particolare nel tratto costiero confinante con la Toscana, dove la piovosità ammonta a poco inferiore a 1000 mm.

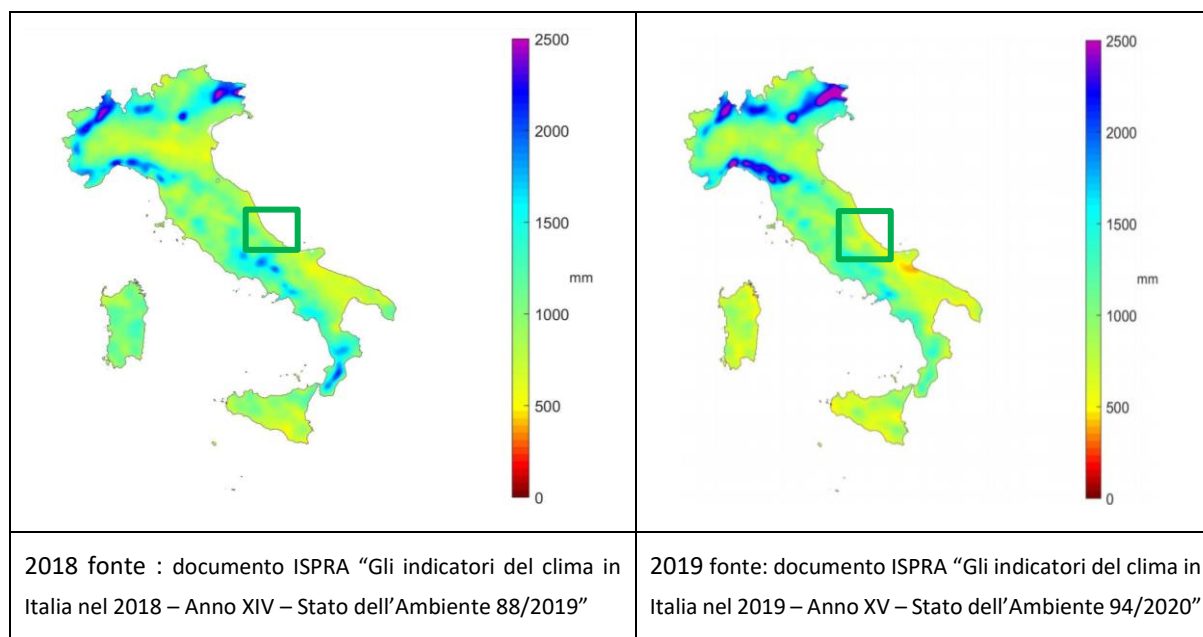
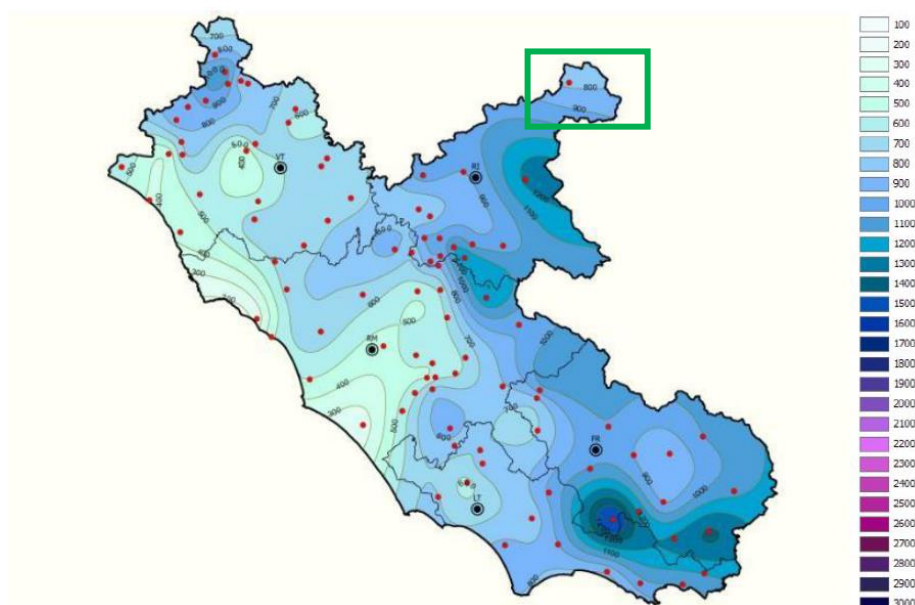


Figura 3 – Precipitazione cumulata 2018 e 2019

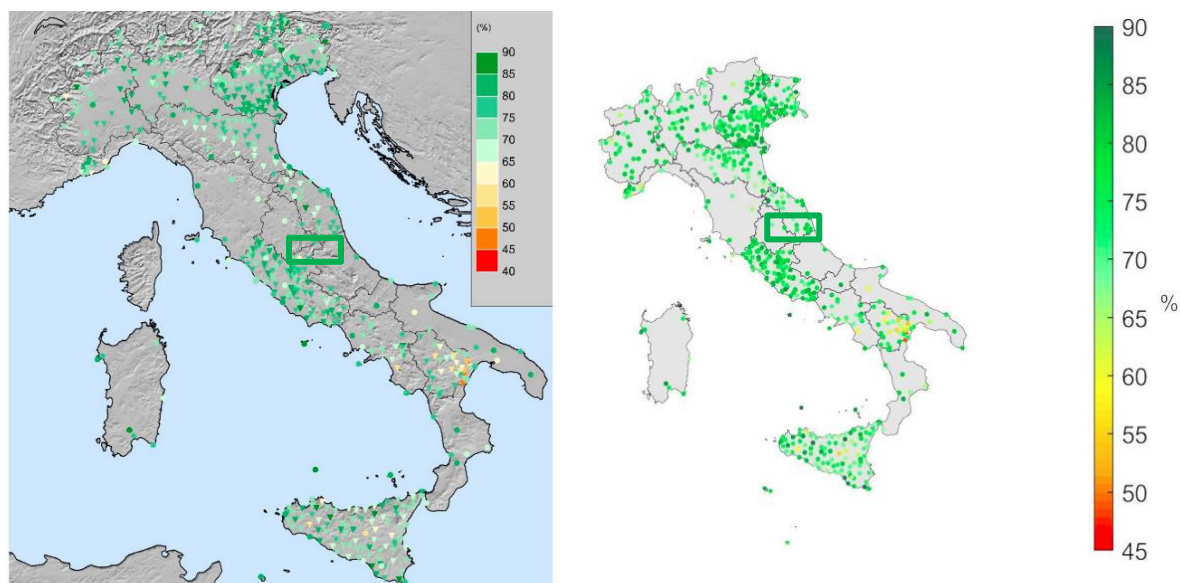
Le aree più piovose si riscontrano sui rilievi confinanti con l'Abruzzo, sull'Anti-appennino Laziale ed in genere sul Basso Lazio, dove il progressivo avvicinarsi della catena Appenninica alla costa rende più efficace la cattura dell'umidità apportata dalle depressioni Atlantiche e Tirreniche: qui cadono fino ad oltre 1500mm di pioggia con punte di 2000 mm sui rilievi del Basso Lazio. Le restanti zone del Lazio che includono gran parte del litorale Laziale l'Agro Romano, la Valle del Tevere e la parte interna della Provincia di Viterbo registrano quantitativi annui compresi tra 800 e 1200 mm annui. Ovunque la stagione più secca è l'Estate sebbene sui rilievi non siano infrequenti gli episodi d'instabilità pomeridiana. Nelle altre stagioni la piovosità è distribuita in modo abbastanza omogeneo ma con un massimo più pronunciato in corrispondenza dei mesi primaverili ed autunnali nelle zone montuose interne, e in Inverno sulle aree costiere e sublitoranee. In Inverno le nevicate sono abbondanti sui rilievi in quota, mentre risultano fugaci e rari gli episodi nevosi lungo le coste.



**Figura 4 - Mappa ARSIAL precipitazioni 2022 [ARPAL VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA DELLA REGIONE LAZIO 2022 ]**

Le mappe di umidità relativa dell'anno 2018 e 2019, rilevate dalle stazioni ricadenti sul territorio nazionale, evidenziano valori di umidità relativa attorno a 70-75%.





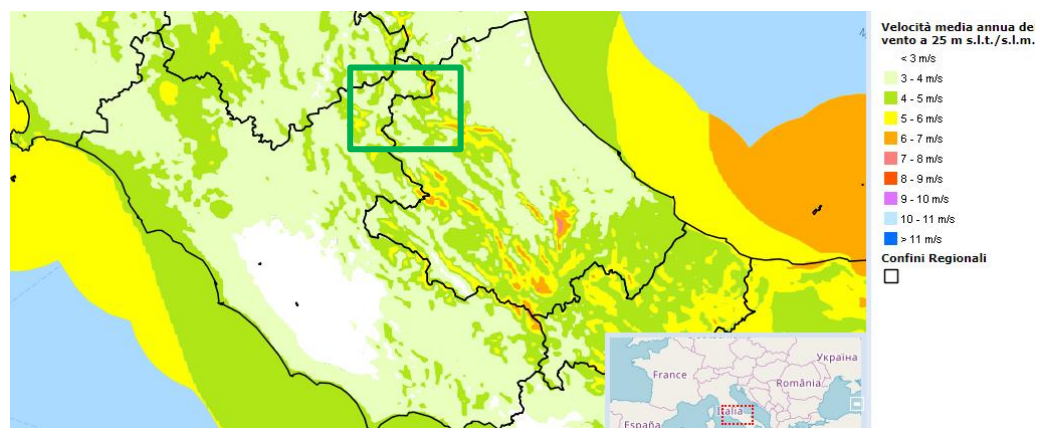
2018 fonte : documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2018 – Anno XIV – Stato dell'Ambiente 88/2019"

2019 fonte: documento ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2019 – Anno XV – Stato dell'Ambiente 94/2020"

Figura 5 – Umidità relativa 2018 e 2019

## Venti

Per quanto riguarda l'andamento della direzione e della velocità del vento si osserva come il movimento delle masse d'aria nei pressi del suolo (soprattutto la loro direzione) differisca notevolmente in funzione del contesto orografico in cui sono localizzati i punti di misura. I venti che soffiano più frequentemente nel Lazio provengono in prevalenza dai quadranti occidentali e meridionali. Durante il semestre freddo il frequente transito di depressioni Atlantiche attiva venti di Scirocco e di Libeccio responsabili delle precipitazioni abbondanti che caratterizzano questi periodi dell'anno. In Inverno si verificano anche irruzioni di aria artica marittima che inducono venti di Maestrale o di aria artica continentale accompagnata da correnti di Tramontana o Grecale. In Estate nelle coste predomina il regime di brezza, mentre gli stessi venti meridionali che nelle altre stagioni portano le piogge, durante tale periodo apportano ondate di caldo e afa.



**Figura 6 – Velocità del vento media annua a 25 m (m/s) (Fonte Atlante eolico nazionale)**

Come mostra l'immagine seguente nel territorio di Latina, in cui rientra l'area di studio, l'area è caratterizzata da venti di bassa intensità, le velocità del vento medie sono inferiori ai 2m/s con calme di vento superiori al 10%

Stazione RMR	vv medio 2022	vv medio 2021	vv medio 2012-21	calme 2022	calme 2021	calme 2012-21
Tor Vergata (RM)	2.19	2.32	2.32	6.5%	5.5%	5.8%
Latina	1.74	1.74	1.75	13.6%	13.7%	13.1%
Tenuta del Cavaliere (RM)	1.97	2.04	2.06	4.8%	4.4%	4.8%
Castel di Guido (RM)	2.74	2.74	2.76	1.4%	1.5%	1.4%
Rieti	1.53	1.61	1.63	21.4%	18.9%	18.7%
Frosinone	1.47	1.53	1.54	18.4%	16.6%	16.7%
Roma via Boncompagni (RM)	1.57	1.62	1.63	4.1%	3.7%	3.8%
Viterbo	3.51	3.63	3.57	2.3%	1.4%	1.7%
<b>Media</b>	<b>2.09</b>	<b>2.15</b>	<b>2.16</b>	<b>8.3%</b>	<b>8.2%</b>	<b>8.3%</b>

**Tabella 1 - Velocità medie dei venti 2022 e media 2012-2020 in m/s rete micro-meteorologica regionale (Fonte Arpa Lazio)**

## 2.2 METEOROLOGIA DELLA ZONA DI STUDIO

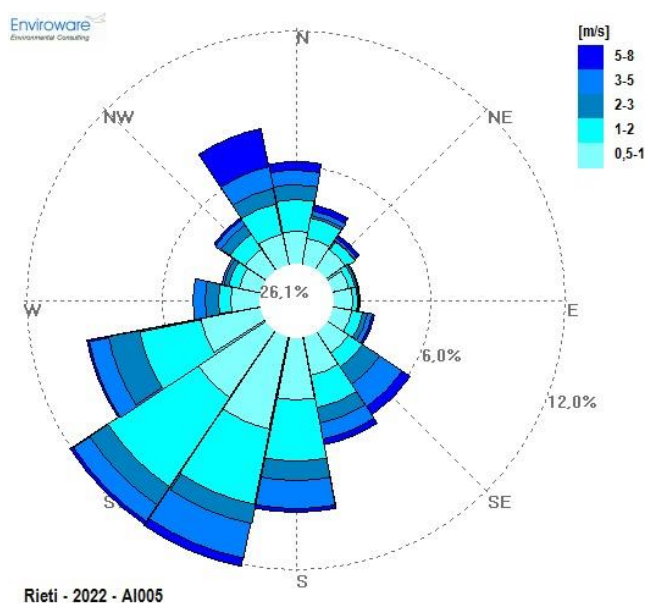
L'analisi meteorologica è volta a descrivere preliminarmente lo stato del regime dei venti e dei principali parametri meteorologici quali ad esempio la temperatura dell'aria e la pressione atmosferica necessari a caratterizzare l'area.

In questo paragrafo, si rappresentano le statistiche descrittive dei principali parametri misurati dalle stazioni meteorologiche misurati utili per la caratterizzazione del sito. In particolare, è stata analizzata la seguente fonte di dati:

- Servizio Meteorologico Regionale Lazio per la stazione di Rieti AL005

Si è proceduto ad utilizzare l'ultimo anno a disposizione temporalmente disponibile per questo studio il 2022. Di seguito si riportano le tabelle e le figure che descrivono, su base annuale, il dettaglio del regime dei venti dell'area in esame.

- Anno 2022



L'analisi dei dati semiorari dell'anno 2022 ha determinato le seguenti classi di velocità del vento:

Int.	From m/s	To m/s	Data	Percent
01	000,500	001,000	2387	27,321
02	001,000	002,000	2011	23,017
03	002,000	003,000	780	8,928
04	003,000	005,000	849	9,717
05	005,000	008,000	377	4,315

Calms defined as speed <= .5

Number of calms: 2281 (26,11% of valid data)

Figura 7 - Rosa dei venti e frequenza di accadimento delle classi di velocità 2019 e dati statistici rilevati dalla stazione metereologica di Latina

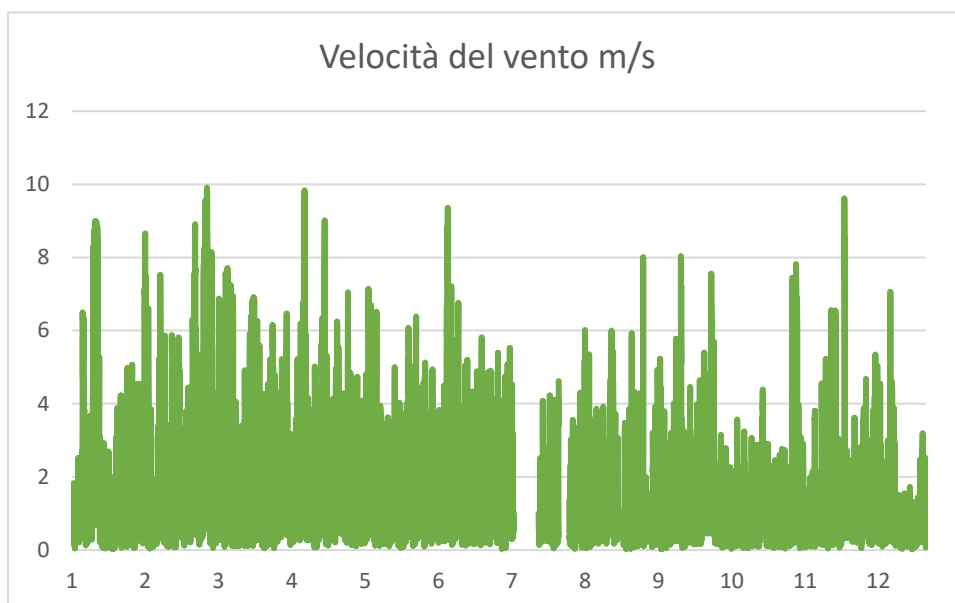


Figura 8 – serie temporale velocità del vento, anno 2022 stazione di Rieti AL005

La velocità massima (9.9 m/s) si è registrata nel mese di marzo, mentre la minima (0.012) si è registrata nel mese di gennaio.

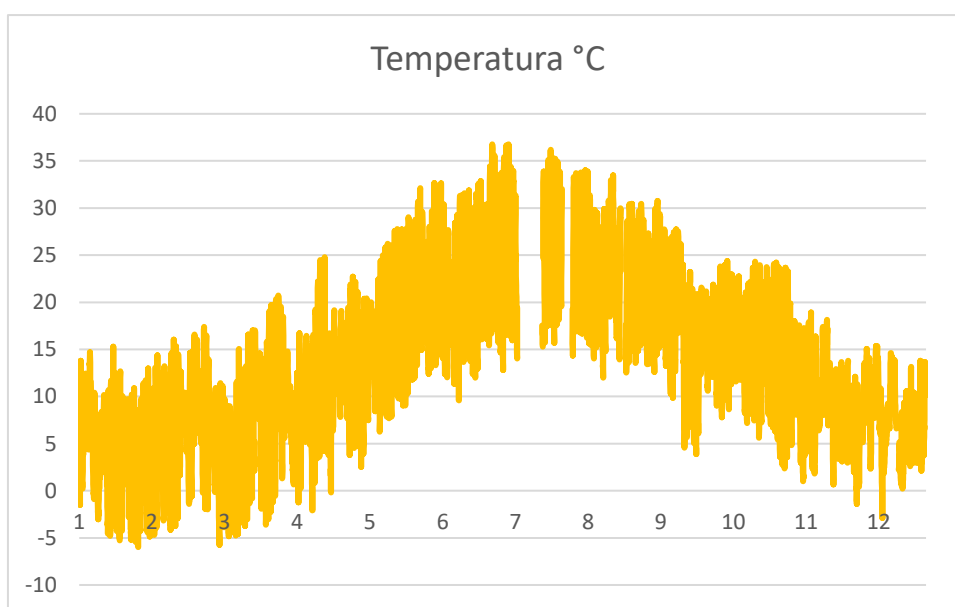


Figura 9 – serie temporale temperatura, anno 2022 stazione di Rieti AL005

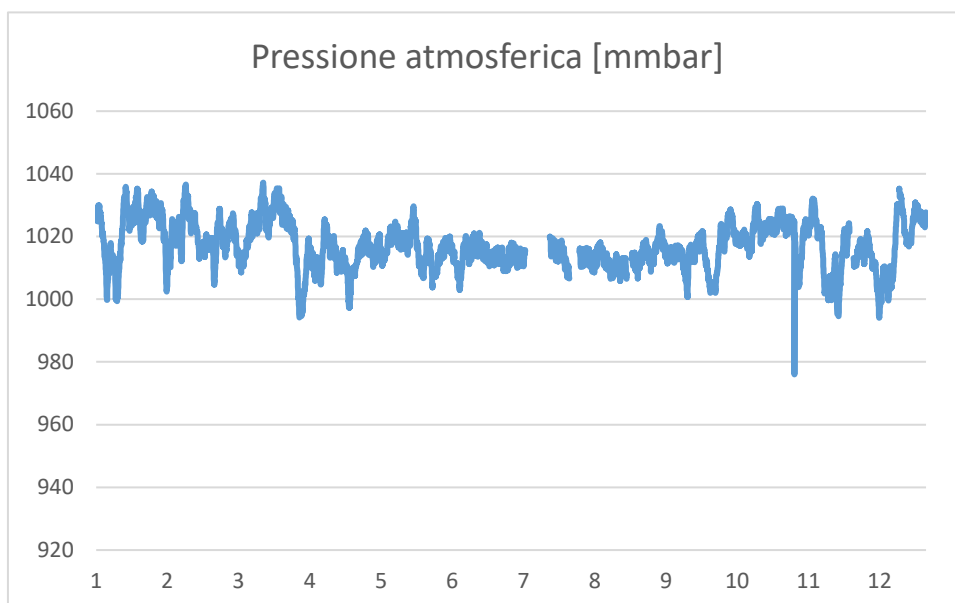


Figura 10 – serie temporale pressione, anno 2022 stazione di Rieti AL005

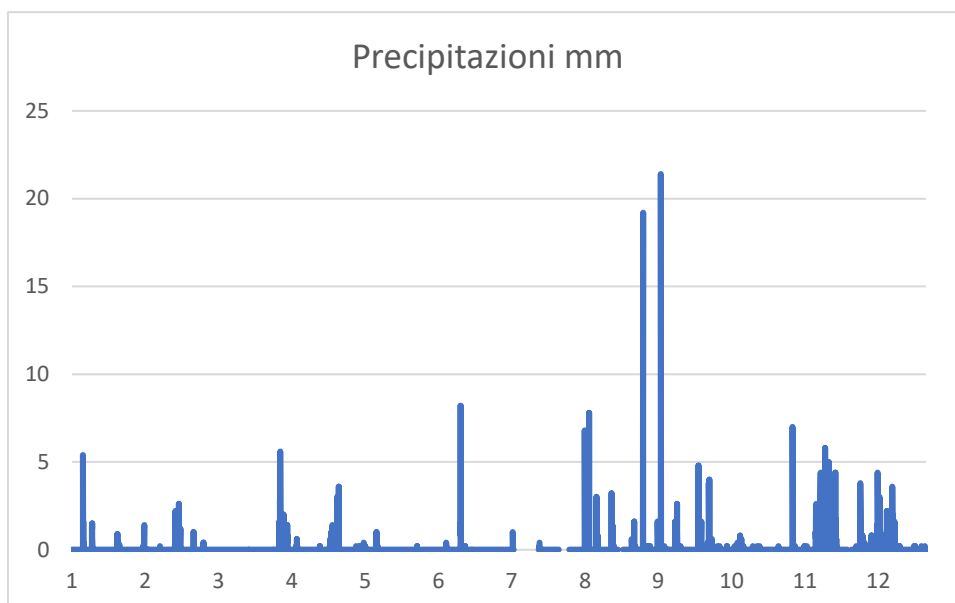


Figura 11 – serie temporale precipitazioni, anno 2022 stazione di Rieti AL005

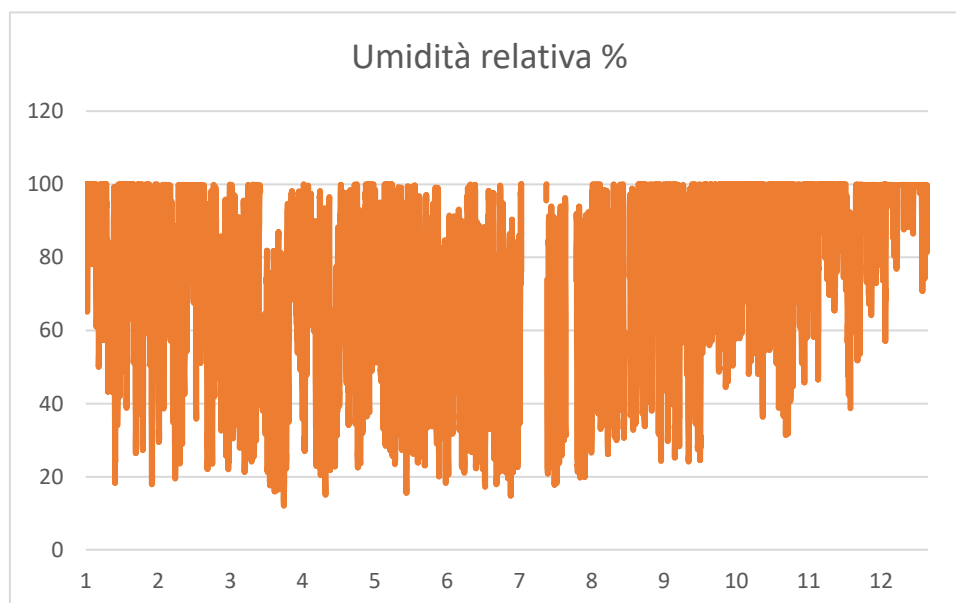


Figura 12 – serie temporale umidità relativa, anno 2022 stazione di Rieti AL005

### 3 ANALISI EMISSIVA

#### 3.1 LE EMISSIONI A LIVELLO NAZIONALE - ISPRA

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

Nel caso in esame, attraverso i dati forniti dall'ISPRA sulle emissioni, è stato possibile ricavare le emissioni complessive nazionali dei principali inquinanti. Il documento più aggiornato preso come riferimento, fornito dall'ISPRA è "National Inventory Report 2021", dal quale è stato possibile individuare i valori medi annui delle emissioni dei principali inquinanti in Italia dal 1990 al 2019.

**Tabella 2 Emissioni totali di gas serra indiretti e SO<sub>2</sub> nel periodo 1990-2019**

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
	<i>kt</i>									
NO <sub>x</sub>	2,128	1,992	1,511	1,294	940	722	703	649	642	630
CO	6,796	7,071	4,750	3,467	3,073	2,270	2,194	2,260	2,051	2,061
NM <sub>VOC</sub>	1,994	2,059	1,630	1,340	1,117	901	884	925	897	894
SO <sub>2</sub>	1,784	1,322	757	411	222	127	119	117	109	105

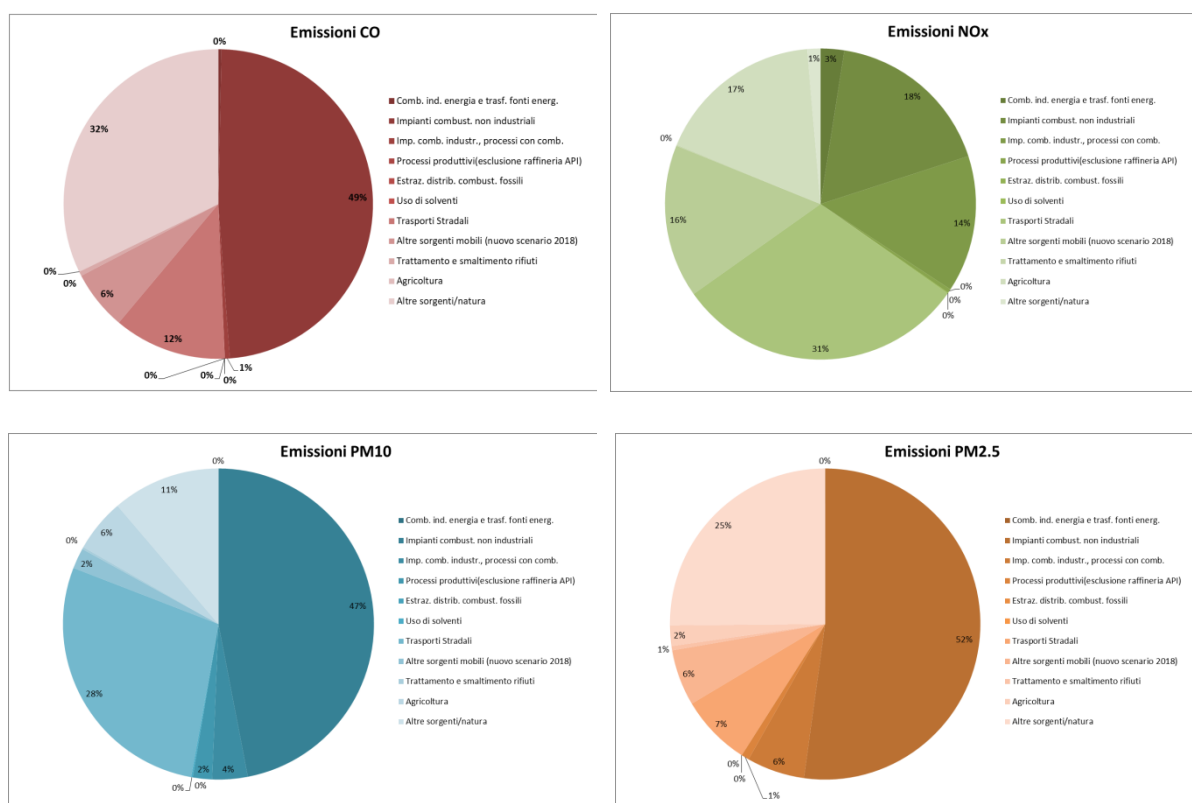
#### 3.2 LE EMISSIONI A LIVELLO REGIONALE

A livello locale si riporta un estratto dell'Inventario delle Emissioni Regionali. In particolare, si riportano nelle tabelle seguenti le emissioni totali nella provincia di Latina per gli anni 2015 e 2017

**Tabella 3 – Emissioni totale per la provincia di Latina, anno 2015 (fonte: Inventario delle emissioni, regione Lazio)**

Macrosettore	CO (t)	NO <sub>x</sub> (t)	PM <sub>10</sub> (t)	PM <sub>2.5</sub> (t)
Comb. ind. energia e trasf. fonti energ.	122.9	159.6	0.6	0.4
Impianti combust. non industriali	17831.2	1139.4	2042.4	830.0
Imp. comb. industr., processi con comb.	191.0	923.6	160.2	96.0
Processi produttivi(esclusione raffineria API)	1.2	27.1	87.1	13.0
Estraz. distrib. combust. fossili	-	-	-	-
Uso di solventi	0.2	6.5	6.8	-
Trasporti Stradali	4332.5	1975.1	1221.0	118.0
Altre sorgenti mobili (nuovo scenario 2018)	2285.0	1033.6	93.0	93.0

Macrosettore	CO (t)	NOX (t)	PM10 (t)	PM2.5(t)
<b>Trattamento e smaltimento rifiuti</b>	166.4	7.4	9.5	7.0
<b>Agricoltura</b>	23.1	1129.7	239.8	34.0
<b>Altre sorgenti/natura</b>	11830.1	89.1	489.5	400.0



**Figura 13 – ripartizione delle emissioni della provincia di Latina per macrosettore**

**Tabella 4 – Emissioni totale per la provincia di Latina, anno 2017 (fonte: Inventario delle emissioni, regione Lazio)**

Macrosettore	CO (t)	NOX (t)	PM10 (t)	PM2.5(t)
<b>Comb. ind. energia e trasf. fonti energ.</b>	122.9	159.6	0.6	nd
<b>Impianti combust. non industriali</b>	17831.2	1130.4	2042.4	nd
<b>Imp. comb. industr., processi con comb.</b>	191.0	923.6	160.2	nd
<b>Processi produttivi(esclusione raffineria API)</b>	1.2	27.1	87.1	nd
<b>Estraz. distrib. combust. fossili</b>	-	-	-	nd



Macrosettore	CO (t)	NOX (t)	PM10 (t)	PM2.5(t)
Uso di solventi	0.2	6.5	6.8	nd
Trasporti Stradali	4332.5	1952.3	1221.0	nd
Altre sorgenti mobili (nuovo scenario 2018)	2285.0	1032.9	93.0	nd
Trattamento e smaltimento rifiuti	166.4	7.4	9.5	nd
Agricoltura	23.1	1129.7	239.8	nd
Altre sorgenti/natura	11830.1	89.1	489.5	nd

Nel presente studio si fa riferimento agli agenti inquinanti maggiormente sensibili in riferimento al tipo di attività svolta in fase di esecuzione e di esercizio. In particolare, si farà riferimento all' NO<sub>x</sub>, al PM<sub>10</sub>, al PM<sub>2.5</sub> e alla CO. Coerentemente a ciò, si è ritenuto significativo avere un quadro completo sugli inquinanti maggiormente influenzate dalla realizzazione e dall'esercizio dell'infrastruttura stessa.

#### Ossidi di Azoto – NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>

Caratteristiche:

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO<sub>x</sub> che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO<sub>2</sub>).

Durante le combustioni l'azoto molecolare (N<sub>2</sub>) presente nell'aria, che brucia insieme al combustibile, si ossida a monossido di azoto (NO). Nell'ambiente esterno il monossido si ossida a biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), che è quindi un inquinante secondario, perché non emesso direttamente. Il biossido di azoto è "ubiquitario": si ritrova in atmosfera un po' ovunque, con concentrazioni abbastanza costanti.

L'ossido di azoto (NO), anche chiamato ossido nitrico, è un gas incolore, insapore ed inodore con una tossicità limi-tata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole. Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante; il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto all'elevata presenza di questo gas. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi tra cui l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso e gli alchilnitrati. Da notare che gli NO<sub>x</sub> vengono per lo più emessi da sorgenti al suo-lo e sono solo parzialmente solubili in acqua, questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

Effetti sull'uomo:

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente blanda. A causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante, in quanto risulta molto più tossico del monossido. Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni

delle funzioni polmonari, di bronchiti croniche, di asma ed di enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica diminuzione delle difese polmonari con conseguente aumento di rischio di affezioni alle vie respiratorie soprattutto in soggetti bronchitici ed asmatici, negli anziani e nei bambini.

Effetti sull'ambiente:

L'inquinamento da biossido di azoto ha un impatto sulla vegetazione di minore entità rispetto al biossido di zolfo. In alcuni casi, brevi periodi di esposizione a basse concentrazioni possono incrementare i livelli di clorofilla, lunghi periodi causano invece la senescenza e la caduta delle foglie più giovani. Il meccanismo principale di aggressione comunque è costituito dall'acidificazione del suolo: gli inquinanti acidi causano un impoverimento del terreno per la perdita di ioni calcio, magnesio, sodio e potassio e conducono alla liberazione di ioni metallici tossici per le piante. Da notare che l'abbassamento del pH compromette anche molti processi microbici del terreno, fra cui l'azotofissazione.

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

#### Polveri – PM10, PM2.5

Caratteristiche:

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

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

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

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

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

Le particelle primarie sono quelle che vengono emesse come tali dalle sorgenti naturali ed antropiche, mentre le secondarie si originano da una serie di reazioni chimiche e fisiche in atmosfera.

Conseguenze diverse si hanno in relazione alla differente grandezza della particella inalata, distinguiamo le particelle fini che sono quelle che hanno un diametro inferiore a 2,5  $\mu\text{m}$ , e le altre dette grossolane.

Da notare che il particolato grossolano è costituito esclusivamente da particelle primarie.

Le polveri PM10 rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 10 micron e vengono anche dette polveri inalabili perché sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe). Una frazione di circa il 60% di queste è costituita dalle polveri PM2,5 che rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 2,5 micron. Le PM2,5 sono anche dette polveri respirabili perché possono penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari).

#### Effetti sull'uomo:

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

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

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

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

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

#### Effetti sull'ambiente:

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

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

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

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

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

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

#### Monossido di carbonio – CO

Caratteristiche:

Il monossido di Carbonio è un gas velenoso particolarmente insidioso in quanto inodore, incolore e insapore. La sua molecola è costituita da un atomo di ossigeno e un atomo di carbonio legati con un triplo legame.

Il monossido di carbonio viene prodotto da reazioni di combustione in difetto di aria, per esempio negli incendi di foreste e boschi dove il prodotto principale di combustione rimane comunque l'anidride carbonica. Altre fonti naturali sono i vulcani mentre la maggior parte si genera da reazioni fotochimiche che avvengono nella troposfera.

Si miscela bene nell'aria, con la quale forma facilmente miscele esplosive. In presenza di polveri metalliche finemente disperse la sostanza forma metallo-carbonili tossici e infiammabili.

Il monossido di carbonio è considerato altamente tossico in quanto avendo affinità con l'emoglobina impedisce l'ossigenazione dei tessuti. La sua sorgente primaria sono i fumi di scarico delle auto e in parte minore le centrali termoelettriche e gli impianti di riscaldamento; ha un tempo di residenza in atmosfera di circa un mese e viene rimosso mediante reazioni fotochimiche in troposfera.

Effetti sull'uomo:

Gli effetti negativi del monossido di carbonio sulla salute umana sono legati alla capacità del CO di unirsi all'emoglobina del sangue formando la carbossiemoglobina (COHb). In questo modo il CO occupa il posto normalmente occupato dall'ossigeno, così da ridurre la capacità del sangue di trasporto dell'ossigeno e di conseguenza la quantità di ossigeno che il sangue lascia nei tessuti. Inoltre vi è la possibilità che il CO si unisca ad alcuni composti presenti nei tessuti stessi riducendo la loro capacità di assorbire ed usare ossigeno. La concentrazione di COHb presente nel sangue è naturalmente legata alla concentrazione di CO presente nell'aria

che viene respirata. Molti sono gli studi fatti per capire il legame tra la percentuale di COHb nel sangue e gli effetti sanitari macroscopici. I danni arrecati dal COHb alla salute umana sono legati essenzialmente agli effetti sul sistema cardiovascolare e sul sistema nervoso.

Per le sue caratteristiche l'ossido di carbonio rappresenta un inquinante molto insidioso, soprattutto nei luoghi chiusi dove si può accumulare in concentrazioni letali.

A causa del traffico automobilistico la popolazione urbana è spesso soggetta a lunghe esposizioni a basse concentrazioni. La lenta intossicazione da ossido di carbonio prende il nome di ossicarbonismo e si manifesta con sintomi nervosi e respiratori.

Effetti sull'ambiente:

Gli effetti che il Monossido di Carbonio ha sull'ambiente possono considerarsi trascurabili.

## **4 QUALITÀ DELL'ARIA**

### **4.1 INQUADRAMENTO NORMATIVO E LIMITI DI LEGGE**

L'atmosfera ricopre un ruolo centrale nella protezione dell'ambiente che deve passare attraverso una conoscenza approfondita e definita in un dominio spazio-temporale, da un lato delle condizioni fisico-chimiche dell'aria e delle sue dinamiche di tipo meteorologico, dall'altro delle emissioni di inquinanti in atmosfera di origine antropica e naturale.

La conoscenza dei principali processi responsabili dei livelli di inquinamento è un elemento indispensabile per definire le politiche da attuare in questo settore. In tal senso uno degli strumenti conoscitivi principali è quello di avere e mantenere un sistema di rilevamento completo, affidabile e rappresentativo.

La valutazione della qualità dell'aria viene effettuata mediante la verifica del rispetto dei valori limite degli inquinanti, ma anche attraverso la conoscenza delle sorgenti di emissione e della loro dislocazione sul territorio, tenendo conto dell'orografia, delle condizioni meteorologiche, della distribuzione della popolazione, degli insediamenti produttivi. La valutazione della distribuzione spaziale delle fonti di pressione fornisce elementi utili ai fini dell'individuazione delle zone del territorio regionale con regime di qualità dell'aria omogeneo per stato e pressione.

Il quadro normativo di riferimento per l'inquinamento atmosferico si compone di:

#### Normative comunitarie

- Direttiva 2008/50/CE del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa;
- Direttiva 2004/107/CE del 15 dicembre 2004, concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nickel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente.

#### Normative nazionali

- D. Lgs. 351/99: recepisce ed attua la Direttiva 96/69/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria. In particolare definisce e riordina un glossario di definizioni chiave che devono supportare l'intero sistema di gestione della qualità dell'aria, quali ad esempio valore limite, valore obiettivo, margine di tolleranza, zona, agglomerato etc;
- D.M. 261/02: introduce lo strumento dei Piani di Risanamento della Qualità dell'Aria, come metodi di valutazione e gestione della qualità dell'aria: in esso vengono spiegate le modalità tecniche per arrivare alla zonizzazione del territorio, le attività necessarie per la valutazione preliminare della qualità dell'aria, i contenuti dei Piani di risanamento, azione, mantenimento;
- Decreto Legislativo 152/2006, recante "Norme in materia ambientale", Parte V, come modificata dal D. Lgs. n. 128 del 2010. Allegato V alla Parte V del D. Lgs. 152/2006, intitolato "Polveri e sostanze organiche liquide". Più specificamente: Parte I "Emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico, scarico o stoccaggio di materiali polverulenti".
- Decreto Legislativo. 155/2010: recepisce ed attua la Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa, ed abroga integralmente il D.M. 60/2002 che definiva per gli inquinanti normati (biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, le polveri, il piombo, il benzene ed il monossido di carbonio) i valori limite ed i margini di tolleranza.

- Decreto Legislativo n. 250/2012: modifica ed integra il Decreto Legislativo n.155/2010 definendo anche il metodo di riferimento per la misurazione dei composti organici volatili;
- DM Ambiente 22 febbraio 2013: stabilisce il formato per la trasmissione del progetto di adeguamento della rete di monitoraggio;
- DM Ambiente 13 marzo 2013: individua le stazioni per le quali deve essere calcolato l'indice di esposizione media per il PM<sub>2,5</sub>;
- DM 5 maggio 2015: stabilisce i metodi di valutazione delle stazioni di misurazione della qualità dell'aria di cui all'articolo 6 del Decreto Legislativo n.155/2010;
- DM Ambiente 26 gennaio 2017 (G.U.09/02/2017),: integrando e modificando la legislazione italiana di disciplina della qualità dell'aria, attua la Direttiva (UE) 2015/1480, modifica alcuni allegati delle precedenti direttive 2004/107/CE e 2008/50/CE nelle parti relative ai metodi di riferimento, alla convalida dei dati e all'ubicazione dei punti di campionamento per la valutazione della qualità dell'aria ambiente;
- DM Ambiente 30 marzo 2017: individua le procedure di garanzia di qualità per verificare il rispetto delle qualità delle misure dell'aria ambiente effettuate nelle stazioni delle reti di misura dell'aria ambiente, effettuate nelle stazioni di reti di misura, con l'obbligo del gestore di adottare un sistema di qualità conforme alla norma ISO 9001.
- DM 5 maggio 2015: stabilisce i metodi di valutazione delle stazioni di misurazione della qualità dell'aria di cui all'articolo 6 del Decreto Legislativo n.155/2010;
- DM Ambiente 26 gennaio 2017 (G.U.09/02/2017),: integrando e modificando la legislazione italiana di disciplina della qualità dell'aria, attua la Direttiva (UE) 2015/1480, modifica alcuni allegati delle precedenti direttive 2004/107/CE e 2008/50/CE nelle parti relative ai metodi di riferimento, alla convalida dei dati e all'ubicazione dei punti di campionamento per la valutazione della qualità dell'aria ambiente;
- DM Ambiente 30 marzo 2017: individua le procedure di garanzia di qualità per verificare il rispetto delle qualità delle misure dell'aria ambiente effettuate nelle stazioni delle reti di misura dell'aria ambiente, effettuate nelle stazioni di reti di misura, con l'obbligo del gestore di adottare un sistema di qualità conforme alla norma ISO 9001.

**Tabella 5 - Valori limite D.Lgs. 155/2010 e smi**

Valori di riferimento per la valutazione della QA in vigore			
<b>Biossido di azoto NO<sub>2</sub></b>	Valore limite orario	Numero di superamenti Media oraria (max 18 volte in un anno)	200 µg/ m <sup>3</sup>
	Valore limite annuale	Media annua	40 µg/ m <sup>3</sup>
	Soglia di Allarme	Numero di superamenti Media oraria (3 ore consecutive)	400 µg/ m <sup>3</sup>
<b>Monossido di carbonio CO</b>	Valore limite	Massima Media Mobile su 8 ore	10 mg/ m <sup>3</sup>
<b>Ozono O<sub>3</sub></b>	Soglia di Informazione	Numero di Superamenti del valore orario	180 µg/ m <sup>3</sup>
	Soglia di Allarme	Numero di Superamenti del valore orario (3 ore consecutive)	240 µg/ m <sup>3</sup>

Valori di riferimento per la valutazione della QA in vigore			
<b>Biossido di Zolfo SO<sub>2</sub></b>	Valore obiettivo per la protezione della salute umana (da valutare per la prima volta nel 2013)	Numero di superamenti della media mobile di 8 ore massima giornaliera (max 25 gg/anno come media degli ultimi 3 anni)	120 µg/ m <sup>3</sup>
	Valore limite orario	Numero di superamenti Media oraria ( max 24 volte in un anno)	350 µg/ m <sup>3</sup>
	Valore limite giornaliero	Numero di superamenti Media giornaliera ( max 3 volte in un anno)	125 µg/ m <sup>3</sup>
	Soglia di Allarme	Numero di superamenti Media oraria (3 ore consecutive)	500 µg/ m <sup>3</sup>
<b>Particolato Atmosferico PM<sub>10</sub></b>	Valore limite giornaliero	Numero di superamenti Media giornaliera (max 35 volte in un anno)	50 µg/ m <sup>3</sup>
	Valore limite annuale	Media annua	40 µg/ m <sup>3</sup>
<b>Benzene C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>	Valore limite annuale	Media annua	5 µg/ m <sup>3</sup>
Valori di riferimento per la valutazione della QA			
<b>IPA come Benzo(a)pirene</b>	Valore obiettivo	Media annua	1 ng/ m <sup>3</sup>
Metalli pesanti			
<b>Arsenico</b>	Valore obiettivo	Media annua	6 ng/ m <sup>3</sup>
<b>Cadmio</b>	Valore obiettivo	Media annua	5 ng/ m <sup>3</sup>
<b>Nichel</b>	Valore obiettivo	Media annua	20 ng/m <sup>3</sup>
<b>Piombo</b>	Valore limite	Media annua	0.5µg/m <sup>3</sup>

#### 4.2 ZONIZZAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO PER QUALITÀ DELL'ARIA

In attuazione dei nuovi criteri introdotti del D.Lgs 155/10, la Regione Lazio ha concluso la procedura di Zonizzazione del territorio regionale, approvata con D.G.R. 217/2012 e aggiornata con D.G.R. n. 536/2016, e avviato il processo di adeguamento della rete di monitoraggio della qualità dell'aria, dopo l'approvazione da parte del Ministero dell'Ambiente del relativo progetto a Gennaio 2014. In particolare, una volta individuate le Zone più critiche del territorio regionale, i risultati delle simulazioni modellistiche devono essere utilizzati per individuare le aree, all'interno di tali Zone, per cui si ha il superamento dei limiti imposti dalla norma stessa con l'obiettivo di attuare in modo più capillare sul territorio regionale le politiche di intervento e le azioni di mitigazione predisposte dagli enti competenti. Il 18 maggio 2012, con Deliberazione della Giunta Regionale n. 217, è stato approvato il progetto di "Zonizzazione e Classificazione del Territorio Regionale (aggiornato con D.G.R. n. 536 del 2016) ai sensi degli artt. 3, 4 e 8 del d.lgs. 155/2010", ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente in attuazione e dell'art. 3 commi 1 e 2, art. 4 e dei commi 2 e 5 dell'art. 8, del D.lgs. 155/2010



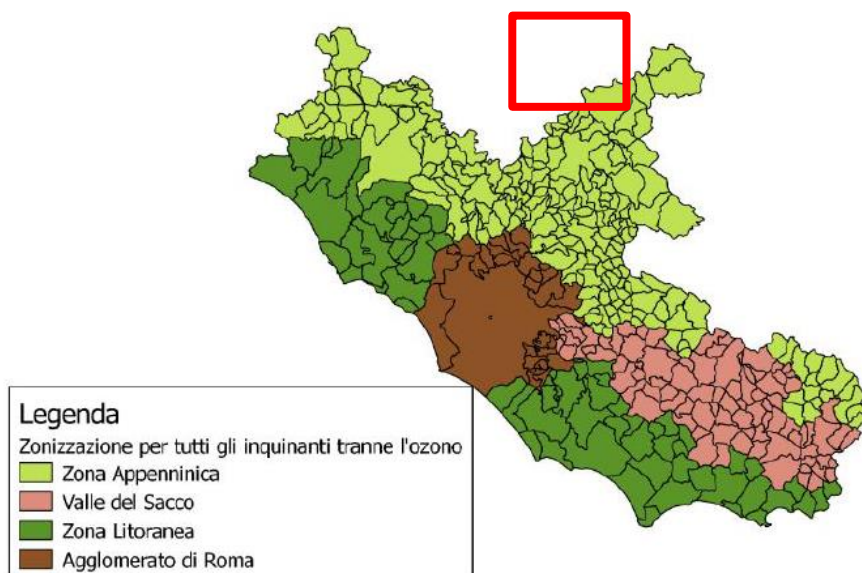
e ss.mm.ii. Come richiesto dalle Linee Guida del Ministero dell'Ambiente, la procedura di zonizzazione del territorio laziale è stata condotta sulla base delle caratteristiche fisiche del territorio, uso del suolo, carico emissivo e densità di popolazione.

Ultimo aggiornamento disponibile è la "Preso d'atto del documento tecnico "Valutazione qualità dell'aria della Regione Lazio anno 2022" con Determinazione n. G07336 del 26/05/2023 della Regione dalla quale si sono estratte le informazioni di seguito riportate.

Il territorio regionale risulta così suddiviso in 3 Zone per l'Ozono e 4 Zone per tutti gli altri inquinanti, come riportato in tabella seguente.

**Tabella 6 - Zonizzazione del territorio regionale per tutti gli inquinanti ad esclusione dell'ozono**

<b>ZONA</b>	<b>Codice</b>	<b>Comuni</b>	<b>Area (km2)</b>	<b>Popolazione</b>
Appenninica 2021	IT1216	197	7025.5	541.130
Valle del Sacco 2021	IT1217	86	2976.4	627.438
Litoranea 2021	IT1218	69	4957.9	1.196.305
Agglomerato di Roma 2021	IT1219	26	2271.9	3.514.210



**Figura 14 Zonizzazione del territorio regionale del Lazio per tutti gli inquinanti ad esclusione dell'ozono**  
(fonte ARPAL)

Relativamente all'ozono, la zona IT214 è di fatto l'accorpamento delle zone Appenninica e Valle del Sacco

Tabella 7 - Zonizzazione del territorio regionale per l'ozono

ZONA	Codice	Comuni	Area (km2)	Popolazione
Litoranea 2021	IT1218	69	4957.9	1.196.305
Appennino-Valle del Sacco	IT1214	283	10001.9	1.178.568
Agglomerato di Roma 2021	IT1219	26	2271.9	3.514.210

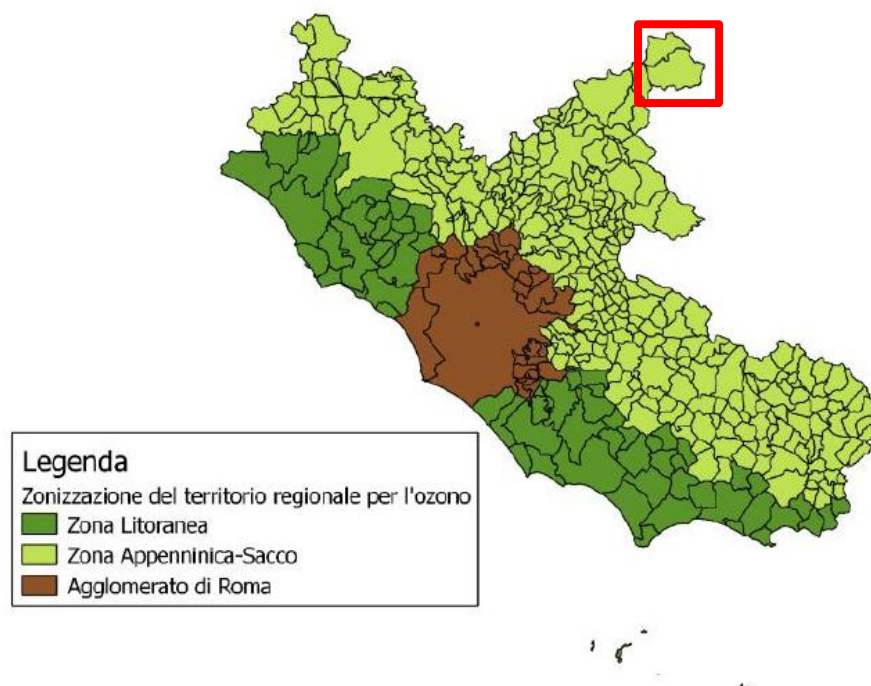


Figura 15 Zone del territorio regionale del Lazio per l'ozono.

LA zona di studio rientra nell'area denominata "**ZONA LITORANEA**" sia per l'ozono che per gli altri inquinanti. A seguito della zonizzazione del territorio, ciascuna zona o agglomerato è stato classificato allo scopo di individuare le modalità di valutazione della qualità dell'aria in conformità alle disposizioni del D.lgs. 155/2010. In base alla classificazione effettuata ed al numero di abitanti delle zone individuate, il D.lgs.155/2010 fissa il numero minimo di stazioni da prevedere nella rete di misura per ogni inquinante. A seguito della classificazione è poi stato redatto il progetto per la riorganizzazione della rete di monitoraggio, approvato dal Ministero dell'Ambiente nel Gennaio 2014.

#### **4.3 RETE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA**

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria regionale nel 2016 è costituita da 55 stazioni di monitoraggio di cui 46 incluse nel Programma di Valutazione della qualità dell'aria regionale approvato con D.G. R. n. 478 del 2016. In accordo con la Regione Lazio e a partire dal 02 maggio 2016, ARPA Lazio ha acquisito, in comodato d'uso dal Comune di Civitavecchia, la gestione e la manutenzione di 11 stazioni di monitoraggio "ex-Enel" (di cui 1 non attiva, S. Marinella) dislocate nel comprensorio di Civitavecchia. Tali stazioni, che fanno parte delle 55 stazioni della rete di monitoraggio regionale della qualità dell'aria non hanno raggiunto, nel 2016, i requisiti minimi di copertura temporale previsti dal D. Lgs. 155/2010 ai fini della verifica del rispetto dei limiti. Dal 7 febbraio 2017 è stata attivata invece la centralina di Fiumicino Villa Guglielmi.

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

- 5 stazioni in zona Appenninica,
- 10 stazioni in zona Valle del Sacco,
- 16 stazioni nell'Agglomerato di Roma (di cui 1 non inclusa nel Programma di Valutazione regionale);
- 24 stazioni in zona Litoranea (di cui 8 non incluse nel Programma di Valutazione regionale).

Le centraline non incluse nel Programma di Valutazione sono: Boncompagni per l'Agglomerato di Roma e le restanti 8 in zona Litoranea: Civitavecchia Morandi, Civitavecchia Porto, Fiumicino Porto, Aurelia, San Gordiano, Santa Marinella, Allumiere e Tolfa (queste ultime 5 appartenenti alla rete "ex-Enel"). Delle centraline ex-ENEL non è attualmente attiva la stazione di Tarquinia. Nel corso del 2019 è stato installato un analizzatore di PM2.5 a S. Agostino ed uno di O3 a Santa Marinella, la copertura temporale dei dati non sono sufficienti a calcolare la media annua.

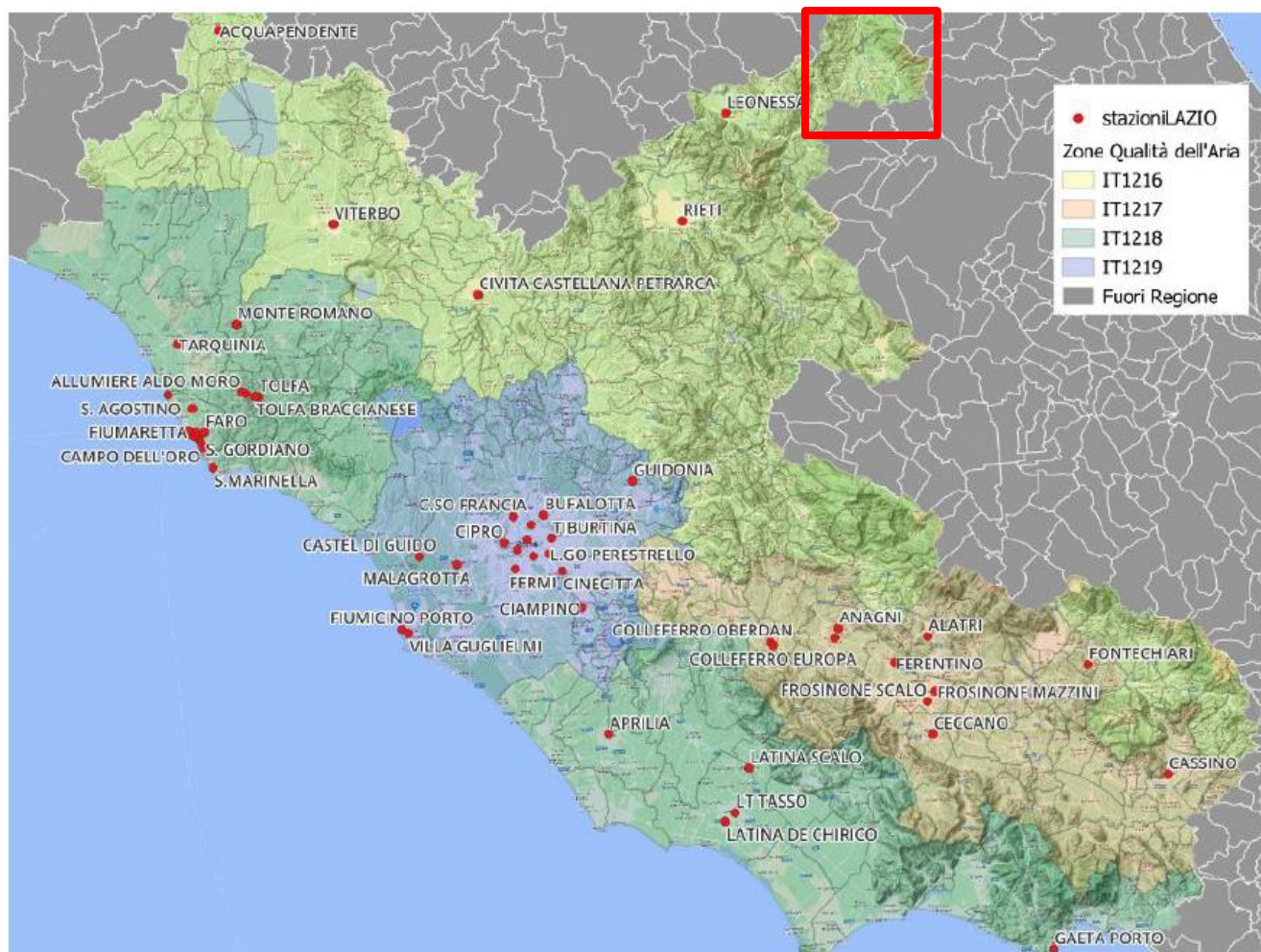


Figura 16 Localizzazione stazioni di qualità dell'aria della rete regionale (fonte Arpa Lazio)

Per la caratterizzazione della qualità dell'aria locale si considerano le stazioni più vicine alla zona di interesse (zona appenninica) attualmente attive di cui di seguito si riportano le caratteristiche e gli inquinanti monitorati.

Tabella 8 - Caratteristiche stazioni di monitoraggio

Denominazione	Zona	Tipo	LATITUDINE	LONGITUDINE
Leonessa	Zona Appenninica	Rurale background	42.57	12.96

Tabella 9 – Inquinanti monitorati

Stazione	PM10	PM2.5	NO2	CO
Leonessa	•	•	•	

Per ciascun inquinante vengono effettuate le elaborazioni degli indicatori fissati e viene mostrato il confronto con i limiti di riferimento stabiliti dalla normativa vigente in materia ambientale. Si riporta, dagli archivi di Arpa Lazio, l'analisi della qualità dell'aria negli stessi anni in cui è stata effettuata l'analisi meteorologica (**Fonte Monitoraggio della qualità dell'aria della regione Lazio -Valutazione preliminare anno 2021**)

#### Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>)

Tabella 10 – Confronto con i limiti di riferimento

Stazione	Stazione Leonessa – NO <sub>2</sub>	
	N° medie orarie >200 µg/m <sup>3</sup> (V.L. 18)	Media annuale (V.L. 40 µg/m <sup>3</sup> )
2021	0	5

Non sono stati rilevati superamenti dei valori limite per NO<sub>2</sub>.

#### PARTICOLATO (PM10)

Tabella 11 – Confronto con i limiti di riferimento per il PM10

Stazione	Stazione Leonessa – PM10	
	N° medie giornaliere >50µg/m <sup>3</sup> (V.L. 35 giorni)	Media annuale (V.L. 40 µg/m <sup>3</sup> )
2021	3	13

Sono stati rilevati superamenti dei valori limite, ma al di sotto del valore limite consentito.

**PARTICOLATO (PM2.5)**

**Tabella 12 – Confronto con i limiti di riferimento per il PM2.5**

<b>Stazione Leonessa – PM 2.5</b>	
<b>Stazione</b>	<b>Media annuale (V.L. 25 µg/m3)</b>
<b>2021</b>	<b>8</b>

Per le altre stazioni non sono disponibili valori relativi a PM2.5.

Tutti i parametri monitorati rimangono stabili e ampiamente entro i limiti normativi.



## **5 MODELLI DI DISPERSIONE PER LA FASE DI ESERCIZIO**

Quando gas o particelle vengono immessi in atmosfera si disperdono per opera del moto caotico dell'aria; tale fenomeno è noto come diffusione turbolenta. Scopo dello studio del comportamento degli inquinanti in atmosfera è la conoscenza della loro distribuzione spaziale e temporale.

Nella maggior parte dei casi si ricorre alla descrizione matematica dei processi di trasporto, reazione chimica e rimozione attraverso l'ausilio di modelli matematici di simulazioni (detti modelli di diffusione) atti a descrivere la distribuzione di una determinata sostanza in atmosfera.

La scelta dello strumento modellistico adeguato alle esigenze dello specifico caso di studio necessita di un'attenta fase di valutazione di applicabilità, da espletarsi attraverso la verifica:

- del problema: scala spaziale, temporale, dominio, tipo di inquinante, tipo di sorgenti, finalità delle simulazioni;
- dell'effettiva disponibilità dei dati di input;
- delle risorse di calcolo disponibili;
- del grado di complessità dei vari strumenti disponibili e delle specifiche competenze necessarie per la sua applicazione;
- delle risorse economico-temporali disponibili.

Naturalmente, la complessità della realtà fisica fa sì che nessun modello possa rappresentare la situazione reale nella sua completezza: ciascun modello rappresenta necessariamente una semplificazione e un'approssimazione della realtà.

### **5.1 CRITERI CHE CONCORRONO ALLA SCELTA DEL MODELLO**

In generale, i modelli matematici diffusionali si possono dividere in due categorie:

- modelli deterministici;
- modelli statistici.

I modelli deterministici si basano su equazioni che si propongono di descrivere in maniera quantitativa i fenomeni che determinano il comportamento dell'inquinante in atmosfera.

Si dividono a loro volta in due classi:

- modelli euleriani: riferiti ad un sistema di coordinate fisse;
- modelli lagrangiani: riferiti ad un sistema di coordinate mobile, che segue gli spostamenti degli elementi di cui si desidera riprodurre il comportamento in atmosfera.

I modelli euleriani si suddividono, a loro volta, in:

- modelli analitici;
- modelli a box;
- modelli a griglia.

I modelli analitici si basano sull'integrazione, in condizioni semplificate, dell'equazione generale di trasporto e diffusione. Le condizioni meteorologiche possono considerarsi stazionarie (plume models) oppure dipendenti

dal tempo (puff models). I modelli a box suddividono il dominio in celle, all'interno delle quali si assume che l'inquinante sia perfettamente miscelato. È inoltre possibile tenere conto di eventuali termini di trasformazione chimica e di rimozione dovuta a fenomeni di deposizione. I modelli a griglia si basano sulla soluzione dell'equazione di diffusione atmosferica tramite tecniche alle differenze finite. Prendono il nome dalla suddivisione del dominio in un grigliato tridimensionale e sono in grado di tener conto di tutte le misure meteorologiche disponibili e delle loro variazioni spaziali e temporali, nonché di trasformazioni quali le reazioni chimiche, la deposizione secca o umida.

I modelli lagrangiani si suddividono in:

- modelli a box;
- modelli a particelle.

I modelli lagrangiani a box, differentemente dai corrispondenti modelli euleriani, ottengono una risoluzione spaziale lungo l'orizzontale, non possibile nei primi a causa dell'ipotesi di perfetto miscelamento. La dimensione verticale del box è posta uguale all'altezza di miscelamento. L'ipotesi semplificatrice più significativa consiste nell'assumere la dispersione orizzontale nulla (assenza di scambio con l'aria circostante).

Nei modelli a particelle la dispersione dell'inquinante viene schematizzata attraverso pseudo-particelle di massa nota, che evolvono in un dominio tridimensionale. Il moto delle particelle viene descritto mediante la componente di trasporto, espressa attraverso il valore medio del vento, e quella turbolenta, espressa attraverso le fluttuazioni dello stesso intorno al valore medio. Questo approccio permette di tener conto delle misure meteorologiche disponibili, anche relative a situazioni spaziali e temporali complesse, evitando parametrizzazioni sulla turbolenza (classi di stabilità e coefficienti di diffusione semi-empirici).

I modelli statistici si basano su relazioni statistiche fra insiemi di dati misurati e possono suddividersi, a seconda delle tecniche statistiche implementate, in:

- modelli di distribuzione;
- modelli stocastici;
- modelli di recettore.

Tutti i modelli statistici non prevedono l'utilizzo delle equazioni che descrivono la realtà fisica, ma utilizzano i soli dati misurati nel passato dalla rete di monitoraggio e forniscono le previsioni dei valori di concentrazione nei soli punti della rete stessa. Nelle loro forme più semplici, questi modelli si basano su espressioni lineari formate dal termine che esplicita la relazione tra dati passati e dato previsto e dal termine stocastico vero e proprio; le ulteriori affinazioni possono derivare con l'apporto esplicito o implicito di altre variabili, meteorologiche o emmissive.

In particolare, per lo studio della qualità dell'aria si è selezionato CALINE4 che è citato come modello disponibile nelle LG nazionali.

Le informazioni di input necessarie per le valutazioni, ovvero i dati studio del traffico, sono state estratte dallo studio trasportistico.



## **5.2 VALIDITÀ DEL MODELLO SELEZIONATO**

Nel documento di riferimento per la Regione Lombardia di ARPA - SETTORE MONITORAGGI AMBIENTALI "Indicazioni relative all'utilizzo di tecniche modellistiche per la simulazione della dispersione di inquinanti negli studi di impatto sulla componente atmosfera" si cita il modello CALINE4 nel capitolo "Le principali tipologie di modelli per la qualità dell'aria" come modello applicabile.

Inoltre, il modello è citato tra i modelli applicabili nel documento di ISPRA (ex ARPA) "Dati e informazioni per la caratterizzazione della componente "atmosfera" e prassi corrente di utilizzo dei modelli di qualità dell'aria nell'ambito della procedura di V.I.A." a cura di M. Belvisi, M. C. Cirillo, M. Colaiezzi, C. D'Anna, G. Marfoli. Roma, 2007 (capitolo Utilizzo di modelli nell'ambito delle procedure di VIA).

## **5.3 CALINE4**

Il presente paragrafo contiene una descrizione del modello utilizzato.

Il modello "CALINE4 - steady-state Gaussian dispersion model designed to determine air pollution concentrations at receptor locations downwind of highways located in relatively uncomplicated terrain" è inserito nella lista dei Preferred/Recommended Models - Appendix W Guidance – Permit Modeling Guidance US-EPA.

CALINE è il modello di calcolo utilizzato per lo studio di sorgenti lineari, come le emissioni dovute a traffico veicolare, appositamente realizzato dal Dipartimento dei Trasporti della California per le autostrade americane e successivamente convalidato dall'US-EPA. Tale modello è basato sull'utilizzo congiunto di un "box model" e della formulazione dell'equazione gaussiana di dispersione, valida per moti del vento laminari e atmosfera stabile.

La versione attualmente utilizzata del codice è CALINE4, che è anche la più recente al momento disponibile. Lo scopo di questo modello è di stimare gli impatti sulla qualità dell'aria nei pressi di strade o infrastrutture viarie lineari.

CALINE4 è in grado di simulare le concentrazioni in aria ambiente di inquinanti primari inerti come CO, particolato ed NO<sub>2</sub>, originate dalle emissioni degli autoveicoli.

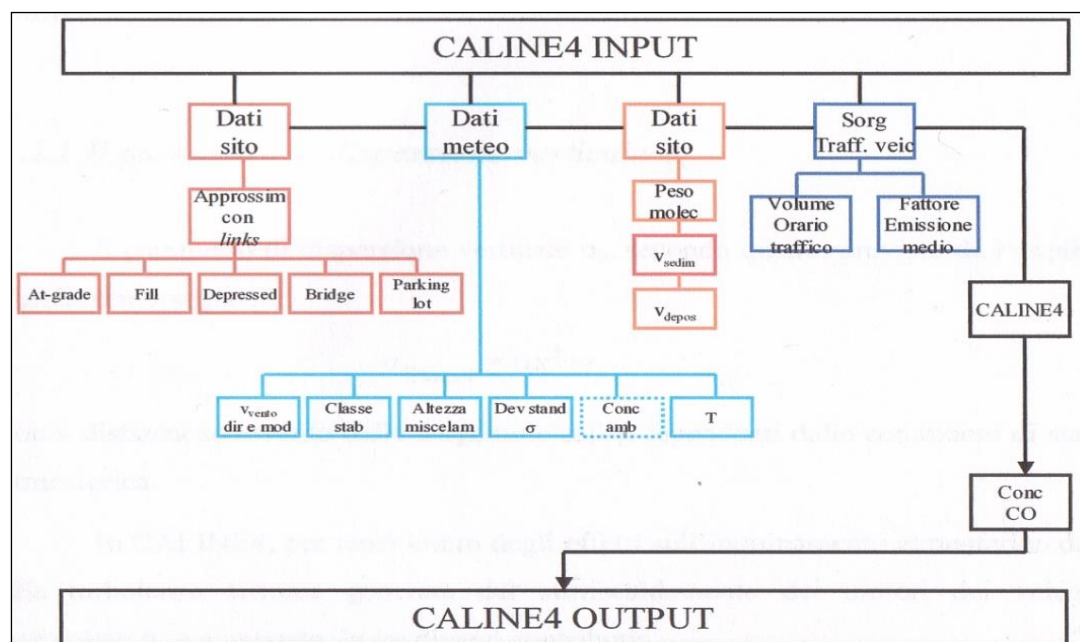


Figura 17 - Schema a blocchi INPUT/OUTPUT del codice CALINE4.

### 5.3.1 SCHEMATIZZAZIONE DEL SITO

Il modello suddivide l'asse stradale in una serie di elementi discreti (determinati tenendo conto della direzione del vento e della posizione rispetto alla strada del punto recettore in cui deve essere stimata la concentrazione) per i quali le singole concentrazioni sono calcolate e poi sommate per ottenere il valore finale in corrispondenza di un particolare recettore. Ciascun elemento in cui è ripartito il tratto stradale viene schematizzato come una sorgente lineare fittizia di emissione perpendicolare alla direzione del vento: per ognuna di queste sorgenti viene simulato un processo di dispersione gaussiana delle sostanze inquinanti.

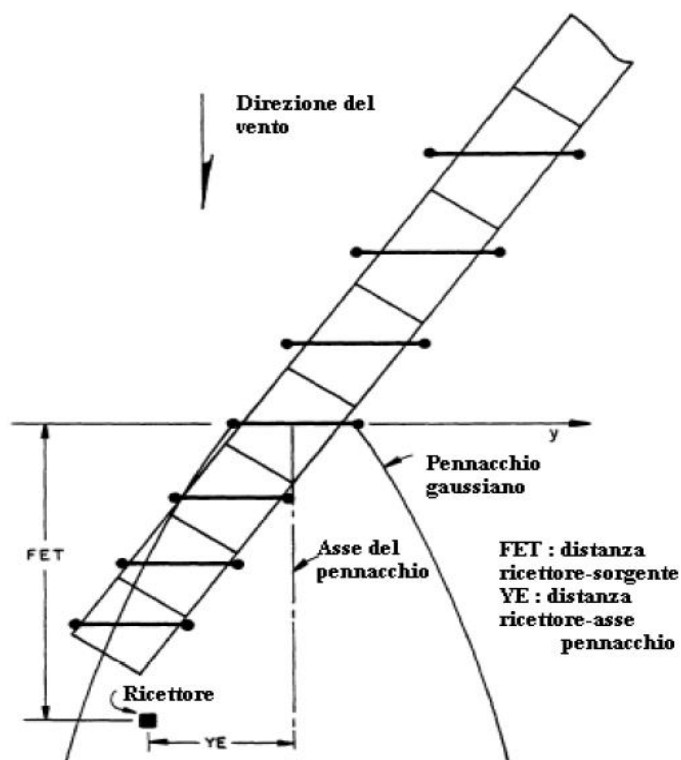


Figura 18 - Schematizzazione della sorgente in CL4.

Per quanto concerne la definizione della geometria della strada, il modello permette di suddividere il tratto studiato fino ad un massimo di 20 segmenti continui, ognuno con differente orientamento. Ogni segmento è definito come retto e con un'ampiezza, una quota, un traffico ed un fattore di emissione per veicolo costante. È possibile simulare sia tratti in trincea che sezioni elevate o ponti, oltre che stimare gli impatti generati da parcheggi posti a livello del terreno.

È importante considerare come le variazioni della topografia al contorno possano influenzare in maniera decisiva la buona applicabilità del modello, in particolare l'utilizzo su terreni orograficamente complessi potrebbe invalidare l'applicabilità dell'equazione gaussiana di diffusione. All'interno del codice di calcolo è stato quindi incluso un algoritmo per la simulazione di canyon urbani o naturali, il quale prevede il calcolo degli effetti della riflessione orizzontale del pennacchio.

Il canyon proposto da CL4 è formato da barriere di altezza fissa (dipendente dall'altezza media degli edifici nel caso urbano) con distanze (destra e sinistra) variabili dall'asse della strada. Questo tipo di rappresentazione che ben si adatta alla struttura delle arterie dei centri urbani americani e dell'Europa centro-settentrionale, pone a priori qualche dubbio circa la riproducibilità delle caratteristiche delle arterie di centri posti nella Piana di Lucca dove le barriere dei canyon urbani sono costituite spesso da edifici non allineati e con altezze sensibilmente diverse.

L'input del codice, in presenza dell'opzione canyon urbano, richiede che la direzione del vento sia posta parallela all'asse stradale: condizione apparentemente non restrittiva imponendo un allineamento del flusso conforme alla topografia del sito.

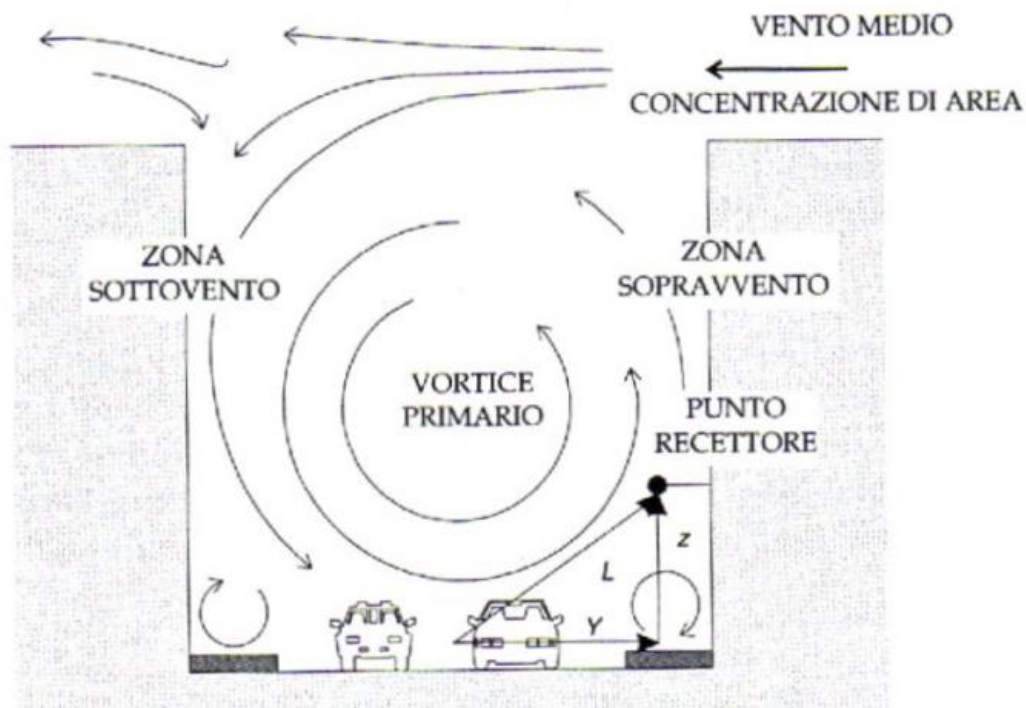


Figura 19 - Caratteristiche geometriche e di circolazione dell'aria in un canyon urbano.

### 5.3.2 EQUAZIONE PER IL CALCOLO DELLA CONCENTRAZIONE

Sono impiegati due differenti equazioni per calcolare le concentrazioni sottovento, nei casi limite di venti paralleli o trasversali ad ogni asse viario:

- un'equazione per sorgente lineare continua infinita (direzione del vento perpendicolare alla strada);
- un'equazione per sorgente puntiforme (direzione parallela alla strada).

In questo caso ogni tratto della strada viene considerato come una successione di sorgenti areali quadrate di dimensione pari alla larghezza della strada, assimilate poi a sorgenti puntuali equivalenti, delle quali sono sommati gli effetti sulle concentrazioni.

In tutti i casi intermedi di direzione prevalente del vento viene utilizzata una media pesata delle due formule. La concentrazione in un punto  $P(x,y,z)$ , in riferimento ad un tratto infinitesimo di strada e ammettendo una riflessione totale da parte del suolo, è la seguente:

$$dC = \frac{q \cdot dv}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}} \left( e^{\left( \frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right)} + e^{\left( \frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right)} \right)$$

Dove:

- $dC$ : incremento della concentrazione (ppm);
- $dv$ : emissione sul tratto infinitesimo (mg/s);
- $u$ : velocità del vento all'altezza  $H$  (m/s);
- $H$ : altezza della sorgente (m);
- $\sigma_y, \sigma_z$ : parametro di dispersione orizzontale e verticale rispettivamente (m).

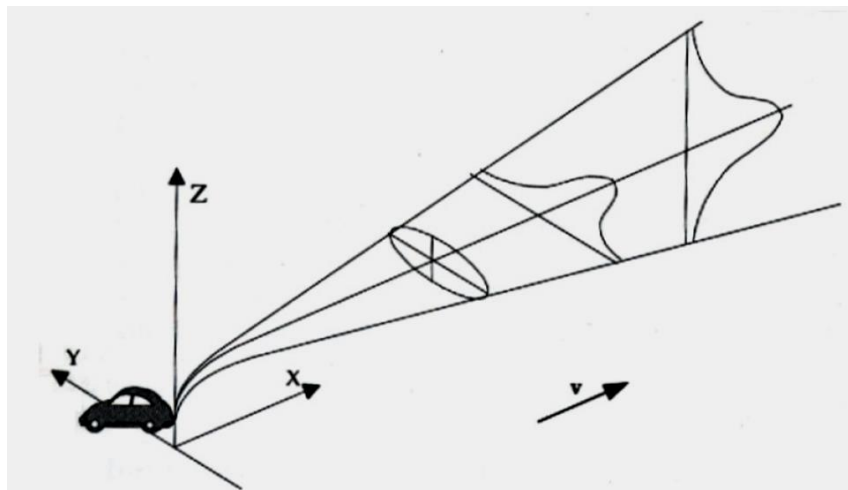


Figura 20 - Schema della dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento.

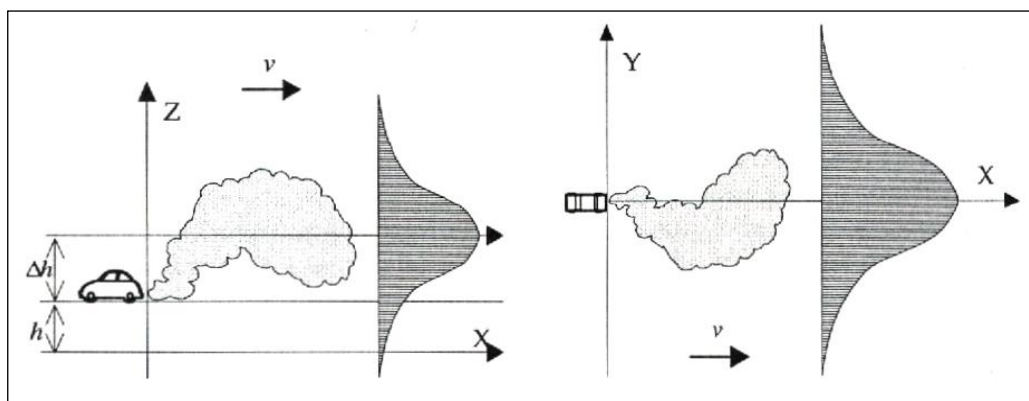


Figura 21 - Vista dei piani (x,z) e (x,y) dello schema di dispersione gaussiana in un sistema di riferimento orientato secondo il vento.

Osservando le immagini sopra riportate, per una sorgente puntuale continua è assunto che il materiale inquinante venga trasportato dal vento nel verso in cui esso spira, distribuendosi secondo un sistema di riferimento cartesiano avente origine degli assi in un punto del suolo con l'asse Z ortogonale al piano stradale e uscente da esso e gli assi X e Y orizzontali.

Come è facile notare, nella sua formulazione standard il modello gaussiano è infatti sottoposto ad una serie di limitazioni, tra le quali ricordiamo:

1. stazionarietà delle emissioni: si assume che le emissioni siano costanti;
2. stazionarietà ed omogeneità delle condizioni atmosferiche: si assume che non intervengano variazioni della direzione e della velocità del vento, della stabilità atmosferica, durante il trasporto di inquinante dalla sorgente al recettore, ipotesi ragionevole solo per brevi distanze e in assenza di rapide variazioni delle condizioni meteorologiche;
3. assenza di reazioni chimiche nell'atmosfera che interessino gli inquinanti e fenomeni di dispersione al suolo;
4. estensione infinita del dominio spaziale di dispersione degli inquinanti: si assume che la dispersione non sia alterata dalla presenza del suolo, ostacoli, stratificazioni termiche dell'atmosfera;
5. impossibilità di simulare calme di vento: per velocità di vento prossime a 0, la concentrazione di un inquinante va all'infinito, dunque è necessario adottare un artificio considerando le calme di vento pari a 1 m/s.

### 5.3.3 I COEFFICIENTI DI DISPERSIONE VERTICALE ED ORIZZONTALE

Per i coefficienti di dispersione verticale ( $\sigma_z$ ), CL4 utilizza una versione modificata delle curve di Pasquill-Smith, in modo da includere la turbolenza termica generata dal surriscaldamento dei motori dei veicoli. In questo modo tale parametro risulta composto da tre diversi contributi:

$$\sigma_z = \sigma_z(I) + \sigma_z(M) + \sigma_z(F)$$

$\sigma_z(I)$ ,  $\sigma_z(M)$ ,  $\sigma_z(F)$  = parametro di dispersione verticale Iniziale, Medio, Finale.

Tale parametro, indipendentemente dalla classe di stabilità atmosferica e dalla rugosità superficiale, dipende dal tempo di residenza della particella d'aria nella zona di turbolenza: maggiore è il tempo di permanenza in questa zona, maggiore è la dispersione verticale subita dalla particella. Tale parametro rimane costante fino ad una distanza della sorgente dipendente dall'ampiezza della strada e dall'angolo formato dalla direzione del vento e dalla posizione della strada stessa. All'aumentare della distanza, gli effetti della turbolenza termica producono un aumento nella dispersione verticale rappresentato tramite il parametro  $\sigma_z(M)$ , che ad una distanza dipendente dal parametro di dispersione orizzontale  $\sigma_y$  si esauriscono, conferendo alla dispersione il tipico andamento gaussiano indicato da Pasquill:

$$\sigma_z(P) = \alpha X^{\beta + \gamma}$$

con X distanza sottovento dalla sorgente (Km) e  $\alpha, \beta, \gamma$  dipendenti dalle condizioni di stabilità atmosferica.

Il parametro di dispersione orizzontale ( $\sigma_y$ ), invece, oltre che dalla deviazione standard della fluttuazione della direzione del vento orizzontale e dalla distanza sottovento dalla sorgente, dipende anche dal tempo di diffusione secondo il modello Draxler che pone:

$$\sigma_y = \sigma_\theta * X * F(T, t_L)$$

$\sigma_\theta$  = deviazione standard della direzione del vento orizzontale;

X = distanza sottovento alla sorgente;

F(T, tL) = funzione del tempo di diffusione T e del tempo di scala lagrangiano tL, data da:

$$F(T, tL) = 1 / [1 + 0.9 * (T/T')^{0.5}]$$

Dove T' è il tempo di diffusione necessario perché la funzione raggiunga il valore F=0.5 e  $T' \propto tL$

#### **5.4 APPROCCIO METODOLOGICO**

Al fine di implementare correttamente il modello di calcolo CALINE4 si è provveduto a svolgere delle simulazioni che permettessero di individuare la curva di dispersione dei vari inquinanti allo studio ovvero PM10, PM2.5, NOx, CO e Benzene determinate dal traffico nel dominio di calcolo.

Considerando quanto sopra, il presente studio valuta il seguente caso:

- Impatto del traffico attuale
- Impatto del traffico progetto

Per stimare le ricadute degli inquinanti derivanti dal traffico in ambito urbano degli inquinanti primari l'agenzia US-EPA raccomanda la versione del modello CALINE, sviluppata dal CALTRANS (California Department of Transportation) nel 1984. L'utilizzo del CALINE IV è indicato dall'Istituto Superiore della Sanità (ISTISAN 93/36) e nella guida web del Centro Tematico Nazionale Aria Clima Emissioni. CALINE è un modello stazionario gaussiano che simula le ricadute degli inquinanti da traffico da archi viari. L'approccio del modello nel ricostruire le condizioni di dispersione degli inquinanti (e quindi le dimensioni laterale e verticale del pennacchio gaussiano), consiste nel considerare la zona direttamente sopra la carreggiata come una regione di rimescolamento uniforme, definita mixing zone. In tale zona i meccanismi dominanti sono la turbolenza meccanica creata dal movimento dei veicoli e termica dei gas di scarico. Queste componenti aggiuntive della turbolenza atmosferica impartiscono una dispersione verticale iniziale, in funzione del tempo di permanenza della massa inquinante nella mixing zone.

Minore è la velocità del vento, maggiore è la dispersione verticale che subisce una particella d'aria prima di essere trasportata fino al recettore. Il parametro che ha il maggior peso nel calcolo delle ricadute è la direzione del vento, che pone o meno i siti recettori sottovento alla sorgente emissiva.

La topografia urbana e la presenza di edifici lungo l'arco viario considerato comportano l'incanalamento del vento, con variazione di velocità e direzione rispetto al vento esterno all'area edificata. La presenza degli edifici ai bordi della carreggiata, inoltre, influisce sulla turbolenza meccanica. Questo effetto, che comporta un incremento della dispersione verticale, viene quantificato attraverso la roughness (lunghezza di rugosità) dell'area di studio, ricavata in modo empirico come un decimo dell'altezza media degli edifici lungo entrambe le carreggiate dell'arco viario considerato. L'applicazione del modello CALINE IV nel presente caso di studio ha previsto le seguenti fasi:

##### Acquisizione ed elaborazione dei dati territoriali:

L'area di calcolo definita nell'intorno dell'area di studio;

##### Acquisizione ed elaborazione delle informazioni relative alle emissioni del traffico:



Sono elaborati i dati di emissione per il calcolo dei fattori di emissione dei veicoli pesanti utilizzando i fattori di emissione ISPRA SINANET applicandoli al flusso di veicoli individuato per lo scenario attuale.

Applicazione del codice numerico di dispersione degli inquinanti per la valutazione delle concentrazioni nei recettori:

Il codice di dispersione CALINE IV viene utilizzato per la valutazione delle ricadute degli inquinanti dalle sorgenti emissive da traffico in area urbana. Applicato il codice di dispersione nella configurazione di "screening" (worst case) che identifica la peggiore situazione descrivibile dal modello dispersione a favore di sicurezza.

Le simulazioni forniscono come risultati le concentrazioni sul dominio di calcolo selezionato.

Risultati:

I risultati delle simulazioni sono rappresentati in mappe di isoconcentrazione su griglia cartesiana per il dominio di calcolo.

All'interno di CALINE4 le strade sono definite come segmenti rettilinei dei quali è necessario specificare le seguenti caratteristiche:

- endpoint delle coordinate;
- altezza delle strade dal piano campagna;
- larghezza della "mixing zone";
- dispersione verticale di canyon o bluff.

Endpoint delle coordinate: le coordinate cartesiane degli endpoint (x1, y1) e (x2, y2) definiscono le posizioni degli estremi dei tratti stradali. La lunghezza del segmento impostato in CALINE4 e le coordinate degli endpoint sono state definite secondo il sistema metrico.

Altezza delle strade dal piano campagna: per tutti i tipi di strade questo parametro, che rappresenta l'altezza della strada sopra il terreno circostante, è stato definito a quota 0 m.

Larghezza della "mixing zone": i calcoli gaussiani di diffusione si basano sul modello della "mixing zone" definita come un'area di spessore pari alla dimensione della strada +3 metri a destra e +3 metri a sinistra di essa (per tenere conto della dispersione orizzontale d'inquinante legata alla scia generata dal movimento dei veicoli). In quest'area si assume che la turbolenza e l'emissione siano costanti e che la turbolenza (termica e meccanica) sia dovuta alla presenza di veicoli in movimento a temperature elevate. La dispersione verticale di inquinante (SGZ1) è funzione della turbolenza ed è indipendente dal numero di veicoli (in un intervallo di 4000 – 8000 veicoli/ora) e dalla loro velocità (in un intervallo di circa 40 – 96 km/h): questo perché un incremento del traffico aumenta la

turbolenza termica ma riduce la turbolenza meccanica legata alla velocità (da qui l'ipotesi di costanza della turbolenza nella "mixing zone"). La dispersione verticale di inquinante (SGZ1) dipende invece dal tempo di residenza TR dell'inquinante nella "mixing zone" che è funzione della velocità del vento.

(State of California, Department of Transportation, 1989).

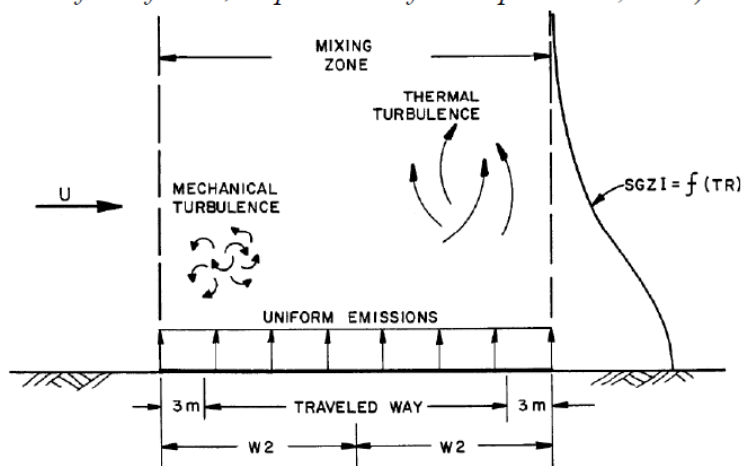


Figura 22 -Arco stradale e parametri considerati dal modello CALINE4.

Dispersione verticale di canyon o bluff: il modello è basato su due assunzioni:

il flusso del vento orizzontale omogeneo;

le condizioni meteorologiche di stato stazionari piuttosto restrittive.

La topografia complessa può invalidare ognuna di queste assunzioni: i canyon possono canalizzare i venti, colline e valli possono causare frequenti spostamenti della direzione del vento. L'utilizzo di CALINE4 in terreni complessi deve pertanto procedere con cautela. Il modello gestisce situazioni di bluff e canyon riflettendo il flusso di dispersione dell'inquinante a distanze specificate su uno o più siti della mixing zone. La topografia dell'area di studio, il fatto che la presenza degli edifici sia già considerata con il parametro "rugosità superficiale" e l'assenza di stretti e continui canyon urbani che possano alterare la curva di dispersione verticale hanno portato a inserire entrambi questi parametri (canyon e bluff) con valore uguale a 0 per tutti gli archi stradali considerati.

Per definire la classificazione ai fini delle simulazioni con CALINE4 si sono valutati i seguenti parametri per ciascuna tipologia di strada necessari per individuare i dati di input per il modello.

Tabella 13 – Parametri utilizzati all'interno di CALINE4

Tipologia di strada	Aerodynamic Coefficient	Roughness	Mixing Zone Height
Rurale	10 cm		5
Autostrada	100 cm		14

#### 5.4.1 COEFFICIENTI EMISSIVI PER LA FASE DI ESERCIZIO

Per la stima delle emissioni si sono utilizzate le informazioni disponibili da ISPRA. I fattori di emissione disponibili sono quelli per l'anno di riferimento il 2020. Nel database sono riportati fattori di emissione sia rispetto ai veic\*km che rispetto ai consumi, con riferimento sia al dettaglio delle tecnologie che all'aggregazione per settori. Il database dei fattori di emissione è stato allineato coerentemente con l'aggiornamento del modello di stima COPERT version 5.2.2.

I fattori di emissione utilizzati per le simulazioni sono stati acquisiti dalla banca dati nazionale di ISPRA SINANET dal file "fe2020.xls" dove sono contenuti i fattori di emissione per tipologia di veicolo e inquinante.

**Tabella 14 – Fattori di emissione medi calcolati per lo studio di dispersione per l'anno di riferimento attuale (elaborazione dei dati estratti da FE2020.xlsx di SINANET ISPRA)**

tipologia	NOx [g/veic*km]		PM10 [g/veic*km]		Benzene		CO	
	Autoveicoli	Veicoli pesanti	Autoveicoli	Veicoli pesanti	Autoveicoli	Veicoli pesanti	Autoveicoli	Veicoli pesanti
Fattori di emissioni medi	0,3311	2,5970	0,0294	0,1393	0.0022	0.00006	0.52978	0.8332
tipologia	PM2.5 [g/veic*km]							
	Autoveicoli	Veicoli pesanti						
Fattori di emissioni medi	0.0197	0.0977						

#### 5.4.2 RECETTORI

Nella tabella seguente si riportano i recettori individuati per la stima dei potenziali impatti sull'atmosfera dal progetto in parola.

**Tabella 15 – Recettori**

Recettori	Descrizione	X WGS84 F32 km	X WGS84 F32 km
R01	Abitazione	359.4249	4721.4988
R02	Supermercato	359.4667	4721.1281
R03	Ospedale	359.4914	4720.9227
R04	Abitazione	359.7606	4720.7442

Recettori	Descrizione	X WGS84 F32 km	Y WGS84 F32 km
R05	Abitazione	359.8506	4720.6061

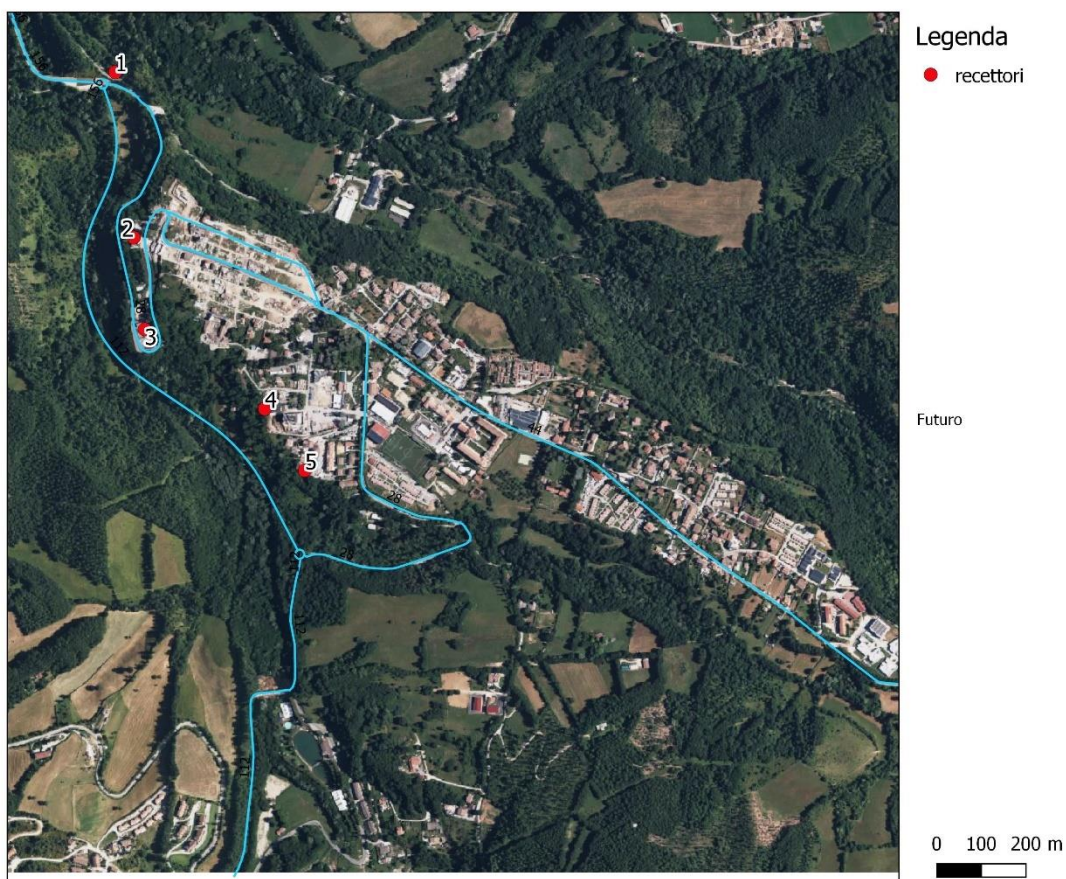


Figura 23 recettori per il calcolo dell'impatto sulla qualità dell'aria.

## 5.5 RISULTATI

Nelle seguenti tabelle i risultati puntuali delle simulazioni calcolate nei punti recettori individuati e a seguire le mappe di concentrazione per i principali parametri inquinanti.

Tabella 16 – Risultati simulazioni esercizio – stato attuale

ATTUALE							
RECETTORE	DESCRIZIONE	NO2 Media annuale	NO2 Percentile medie orarie	PM10 Media annuale	PM10 Percentile medie orarie	CO Massimo orario	Benzene Media Annuale
		[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]
R01	Abitazione	0.30921	1.10509	0.03051	0.04956	3.26813	0.00340
R02	Supermercato	0.24404	0.87220	0.02408	0.03911	2.57939	0.00269
R03	Ospedale	0.23910	0.85454	0.02360	0.03832	2.52716	0.00263
R04	Abitazione	0.00001	0.00004	0.00001	0.00001	0.00013	0.00001
R05	Abitazione	0.00105	0.00377	0.00010	0.00017	0.01114	0.00001
<b>Valori limite di legge</b>		<b>40</b>	<b>200</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>10000</b>	<b>5</b>

Come evidente dalla tabella sopra riportata i risultati nei recettori presi a riferimento mostrano valori di concentrazione inferiori di più di 2 ordini di grandezza per ognuno dei parametri di qualità dell'aria.

Tabella 17 – Risultati simulazioni esercizio – stato futuro

FUTURO							
RECETTORE	DESCRIZIONE	NO2 Media annuale	NO2 Percentile medie orarie	PM10 Media annuale	PM10 Percentile medie orarie	CO Massimo orario	Benzene Media Annuale
		[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]
R01	Abitazione	0.55292	1.97609	0.05456	0.08862	5.84398	0.00609
R02	Supermercato	0.06688	0.23904	0.00660	0.01072	0.70693	0.00074
R03	Ospedale	0.06859	0.24512	0.00677	0.01099	0.72490	0.00076
R04	Abitazione	0.00320	0.01143	0.00032	0.00051	0.03381	0.00004
R05	Abitazione	0.00618	0.02207	0.00061	0.00099	0.06528	0.00007
<b>Valori limite di legge</b>		<b>40</b>	<b>200</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>10000</b>	<b>5</b>

Come mostrato nella tabella precedente l'attuazione del progetto in esame determina una riduzione degli impatti, pur trascurabili stimati nello scenario attuale. L'unico recettore R01 che verifica un lieve incremento riporta però sempre valori di concentrazioni ben al disotto dei limiti di qualità dell'aria previsti dalla normativa vigente.



## 6 MODELLI DI DISPERSIONE PER LA FASE DI CANTIERE

### 6.1 AREE DI CANTIERE

Nella immagine seguente sono rappresentate le aree di cantiere, suddivise per tipologia e la viabilità di cantiere che sono oggetto della valutazione e stima delle emissioni e calcolo degli impatti sulla qualità dell'aria.

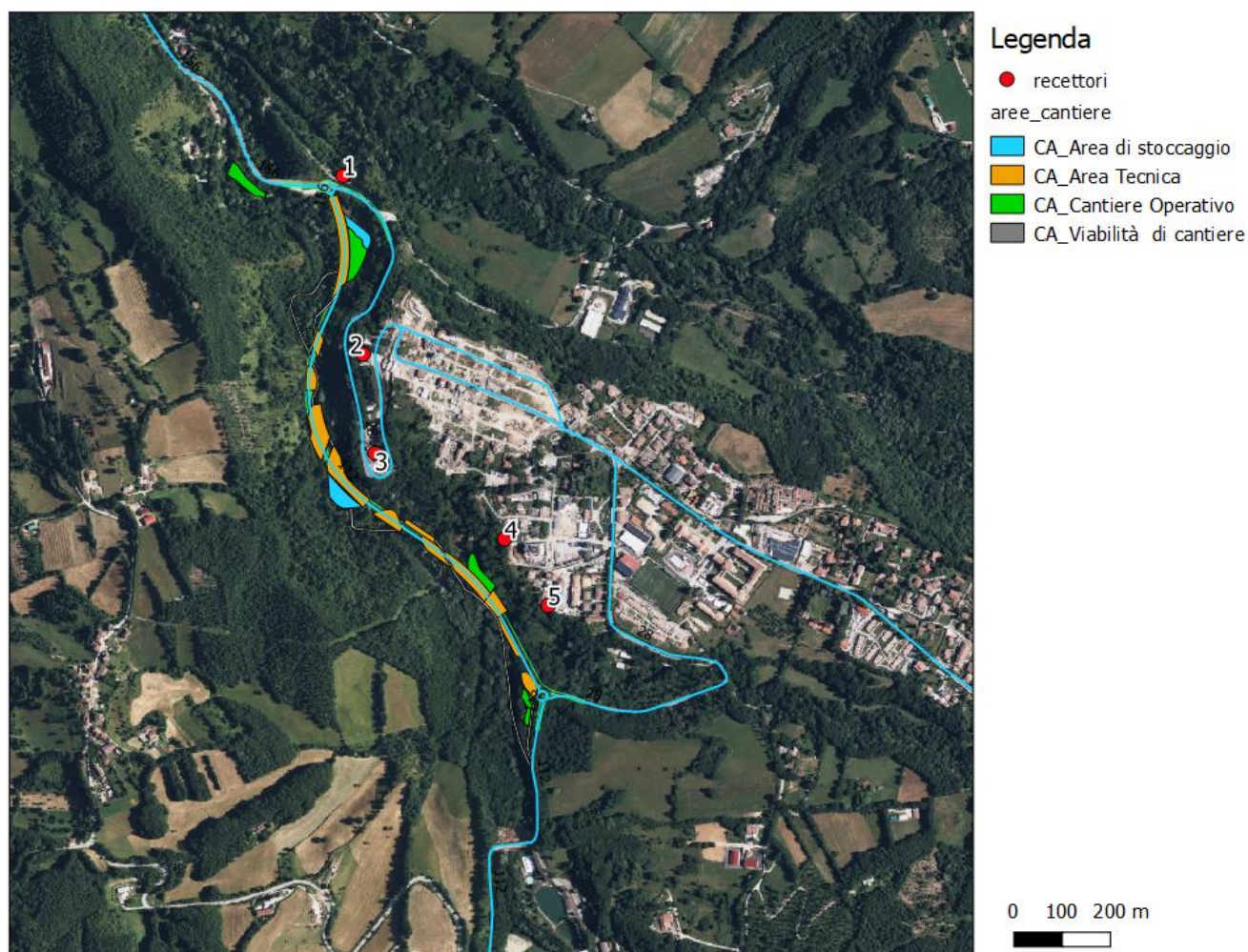


Figura 24 aree di cantiere.

### 6.2 STIMA DELLE EMISSIONI

La valutazione delle emissioni di polveri e l'individuazione dei necessari interventi di mitigazione sono state effettuate secondo le indicazioni di cui ai contenuti delle *"Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali pulverulenti"* redatte da ARPAT previa convenzione con la Provincia di Firenze.

Tali linee guida introducono i metodi di stima delle emissioni di particolato di origine diffusa prodotte dalle attività di trattamento degli inerti e dei materiali pulverulenti in genere, e le azioni e le opere di mitigazione che si possono effettuare, anche ai fini dell'applicazione del D.Lgs 152/06 (Allegato V alla Parte 5°, Polveri e sostanze organiche liquide, Parte 1: Emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali pulverulenti).

Le linee guida ARPAT sono suddivise principalmente in due capitoli: nel Capitolo 1 sono analizzate le sorgenti di particolato dovute alle attività di trattamento di materiali pulverulenti e per ciascuna sorgente vengono individuate le variabili da cui dipendono le emissioni ed il metodo di calcolo, in taluni casi semplificato rispetto al modello originale ed adattato dove possibile alla realtà locale. Nel Capitolo 2 sono presentate delle soglie di emissione al di sotto delle quali l'attività di trattamento di materiali pulverulenti può essere ragionevolmente considerata ad impatto non significativo sull'ambiente. Tale conclusione deriva dall'analisi effettuata tramite l'applicazione di modelli di dispersione, i cui risultati indicano che al di sotto dei valori individuati non sussistono presumibilmente rischi di superamento o raggiungimento dei valori limite di qualità dell'aria di PM10 dovuti alle emissioni dell'attività in esame.

I metodi di valutazione proposti nelle Linee guida ARPAT provengono principalmente da dati e modelli dell'US-EPA (AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors) ai quali si rimanda per la consultazione della trattazione originaria, in particolare degli algoritmi di calcolo, e qualora sorgessero dubbi interpretativi.

Per la stima delle emissioni si è fatto ricorso ad un approccio basato su un indicatore che caratterizza l'attività della sorgente ( $A$  in eq.1) e di un fattore di emissione specifico per il tipo di sorgente ( $E_i$  in eq.1). Il fattore di emissione  $E_i$  dipende non solo dal tipo di sorgente considerata, ma anche dalle tecnologie adottate per il contenimento/controllo delle emissioni. La relazione tra l'emissione e l'attività della sorgente è di tipo lineare:

$$Q(E)_i = A * E_i \quad (\text{eq.1})$$

dove:

**Q(E)<sub>i</sub>**: emissione dell'inquinante  $i$  (ton/anno);

**A**: indicatore dell'attività (ad es. consumo di combustibile, volume terreno movimentato, veicolo-chilometri viaggiati);

**E<sub>i</sub>**: fattore di emissione dell'inquinante  $i$  (ad es. g/ton prodotta, kg/kg di solvente, g/abitante).

La stima è tanto più accurata quanto maggiore è il dettaglio dei singoli processi/attività.

Sono state inoltre considerate le attività di mezzi meccanici all'interno dell'area di cantiere, e le emissioni dei gas di scarico sia dei mezzi meccanici di cantiere sia dei mezzi pesanti.



#### ATTIVITÀ DI SCOTICO

Nella fase di scotico la ruspa si ipotizza possa rimuovere circa 12 m<sup>3</sup>/h di "materiale": effettua quindi il lavoro su di un tratto lineare di 7 m/h (7 x 0.52 [profondità scavo] x 3.19 [larghezza ruspa] = 12 m<sup>3</sup>/h). Ipotizzando questa la grandezza che interessa nel caso si utilizzi per tale operazione il fattore di emissione delle operazioni di scotico previsto in "13.2.3 Heavy construction operation" risulta pari 5.7 kg/km per le PTS e considerando il PM10 pari al 60% delle polveri totali si ottiene il fattore di emissione di 3.42 kg/km per il PM10. L'emissione oraria stimata per questa fase è quindi 7x10<sup>-3</sup> km/h x 3.42 kg/km=0.02394 kg/h. Il valore del PM2.5 è derivato considerando una quota parte pari a 20% delle PM10.

- **Fattore: PM10 0.02394 kg/h**

#### ATTIVITÀ DI SBANCAMENTO

La fase di sbancamento non ha uno specifico fattore di emissione ma, considerando che il materiale estratto è bagnato, si può cautelativamente considerare il fattore di emissione associato al SCC 3-05-027-60 Material Handling, Transfer, and Storage in "Industrial Sand and Gravel", pari a 5.7 3.9x10<sup>-4</sup> kg/ton di PM10. Considerando una percentuale di PM2.5 pari a circa 20% del PM10 si ottiene il valore del fattore di emissione per PM2.5 pari a 7.8x10<sup>-5</sup> kg/ton di materiale scavato. Per il fattore del PM2.5 si considera una quota pari al 20% del PM10.

- **Fattore: PM10 0.00039 kg/t**

#### SCARICO DEL MATERIALE

Per la fase di scarico è stato considerato il fattore SCC 3-05-010-42 "Truck unloading: Bottom-Dump-Overburden" pari a 0,0005 Kg/t di PM10 per tonnellata di materiale scaricato.

#### FORMAZIONE E STOCCAGGIO CUMULI

Il fattore di emissione utilizzato per la stima della polverosità generata dalle attività di formazione e stoccaggio cumuli prende in considerazione le attività di sollevamento delle polveri per via eolica dei cumuli (si sottolinea che tale circostanza risulta in realtà considerata a scopo cautelativo) ed è il seguente:

$$E = k \cdot (0,0016) \cdot \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}}$$

dove: k rappresenta la costante adimensionale variabile in funzione della dimensione delle particelle:

k= 0.35 per il calcolo di PM<sub>10</sub>

U = velocità media del vento (m/s)

M = umidità del materiale accumulato (%)

Il parametro k varia a seconda della dimensione del particolato come riportato in tabella:

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k) For Equation 1				
< 30 $\mu\text{m}$	< 15 $\mu\text{m}$	< 10 $\mu\text{m}$	< 5 $\mu\text{m}$	< 2.5 $\mu\text{m}$
0.74	0.48	0.35	0.20	0.053 <sup>a</sup>

La suddetta formula empirica garantisce una stima attendibile delle emissioni considerando valori di U e M compresi nel *range* di valori (ben rappresentativo della situazione oggetto di studio) specificati nella tabella seguente.

Parametro	Range
Velocità del vento	0,6 – 6.7 m/s
Umidità del materiale	0,25 – 4,8 %

Nel caso in esame, la velocità del vento è stata cautelativamente assunta pari a 6,7 m/s: tale valore descrive la peggiore situazione riscontrabile in sito, compatibilmente con l'intervallo di applicabilità della formula sopra riportato. Tale valore appare ampiamente cautelativo. L'umidità del materiale è assunta pari a 4%.

Le quantità di materiale da movimentare sono state individuate dall'analisi congiunta degli elaborati e planimetrie di progetto. Si riporta di seguito il fattore di emissione associato alle operazioni di formazione e stoccaggio cumuli:

- FE formazione cumuli (PM10)= 0.0009 kg/Mg

#### EROSIONE del VENTO dei CUMULI

Le emissioni causate dall'erosione del vento sono dovute all'occorrenza di venti intensi su cumuli soggetti a movimentazione. Nell'AP-42 (paragrafo 13.2.5 Industrial Wind Erosion) queste emissioni sono trattate tramite la potenzialità di emissione del singolo cumulo in corrispondenza di date condizioni di vento.

Il rateo emissivo orario si calcola dall'espressione:

$$E_i[kg/h] = EF_i \cdot a \cdot movh$$

dove:

- i            particolato (PTS, PM10, PM2,5)
- EF          fattore di emissione areale dell'i-esimo tipo di particolato in kg/m<sup>2</sup>
- a            superficie dell'area movimentata in m<sup>2</sup>
- movh      numero di movimentazioni/ora

Per il calcolo del fattore di emissione areale si distinguono i cumuli bassi da quelli alti a seconda del rapporto altezza/diametro. Per semplicità inoltre si assume che la forma di un cumulo sia conica, sempre a base circolare.

Nel caso di cumuli non a base circolare, si ritiene sufficiente stimarne una dimensione lineare che ragionevolmente rappresenti il diametro della base circolare equivalente a quella reale. Dai valori di:

- altezza del cumulo (intesa come altezza media della sommità nel caso di un cumulo a sommità piatta)  $H$  in m,
- diametro della base  $D$  in m,

si individua il fattore di emissione areale dell' $i$ -esimo tipo di particolato per ogni movimentazione dalla sottostante tabella:

cumuli alti $H/D > 0,2$	
EFi (kg/m <sup>2</sup> )	
PTS	1.6E-05
PM10	7.9E-06
PM2.5	1.26E-06
cumuli bassi $H/D \leq 0,2$	
EFi (kg/m <sup>2</sup> )	
PTS	5.1E-04
PM10	2.5E-04
PM2.5	3.8E-05

Si definiscono conservativamente le caratteristiche del cumulo come segue:

tipologia	tipologia	Area movimentata	Movimentazioni/h	EFi [kg/m <sup>2</sup> ]
Deposito temporaneo	Cumulo alto $H/D > 2$	30 m <sup>2</sup>	1	7.9E-06

Il valore è stato valutato impostando un'altezza del cumulo pari a 2 m, ipotizzandolo conico con un diametro di 5 m e con una superficie laterale di circa 30 m<sup>2</sup>. Il rapporto tra altezza del cumulo e diametro è superiore a 0.2 quindi il cumulo è considerato "alto" e il fattore di emissione risulta pari a  $7.9 \times 10^{-6}$  kg/m

- Fattore PM10: 0,00024 Kg/h

#### TRAFFICO DI MEZZI PESANTI NELLE AREE NON PAVIMENTATE

Per la stima delle emissioni di polvere generate dal traffico veicolare per azione del risollevarimento nelle aree non pavimentate è stato utilizzato il seguente fattore di emissione:

$$E = k \cdot \left(\frac{s}{12}\right)^a \cdot \left(\frac{W}{3}\right)^b$$

[kg/km]

dove:

W = peso medio dei mezzi di cantiere che percorrono le aree considerate (t)

S = contenuto del limo dello strato superficiale delle aree non pavimentate (%)

Il contenuto di limo è stato assunto pari al 14 %, conforme all'intervallo di valori compresi tra l'1,8% e il 25,2% e coerente con quanto indicato nelle Linee Guida ARPAT. I valori di K, a e b sono stati assunti:

per PM10

K= 0.423

a= 0.900

b= 0.450

Si riportano di seguito i fattori di emissione associati al passaggio su aree non pavimentate:

I Km medi percorsi sono stati stimati a partire dall'estensione media del percorso nelle aree non pavimentate secondo la viabilità ipotizzata (desunta a partire dalla consultazione congiunta degli elaborati grafici di progetto), moltiplicata per il numero dei mezzi stimati durante la specifica attività in esame. Il peso medio dei mezzi di cantiere (W) che percorrono le aree considerate viene considerato pari a 28 t. Pertanto il fattore di emissione per le polveri PM10 che si può utilizzare è pari a :

- FE passaggio su piste non pavimentate (PM10)= 1.33kg/Km
- 

È stata in questo caso introdotta una delle usuali operazioni gestionali volte a ridurre l'emissione di polveri, cioè la bagnatura delle strade interne al cantiere (piste non asfaltate). Con un'efficienza di abbattimento del 80% delle emissioni di PM10.

#### EMISSIONI DA GAS DI SCARICO CAMION E MEZZI D'OPERA (PM10, NOx)

Con riferimento all'emissione di sostanze inquinanti ad opera dei mezzi meccanici e degli automezzi in circolazione sulle piste di cantiere e sulla viabilità principale, si aggiungono anche le PM10, da traffico veicolare. Per la stima dei fattori di emissione delle macchine e dei mezzi d'opera impiegati è stato fatto riferimento al database del programma di calcolo COPERT III ed all'Atmospheric Emission Inventory Guidebook dell'EEA. All'interno del documento è possibile individuare dati relativi ai seguenti macchinari principali (Other Mobile SouRes and Machinery – SNAP 0808XX):

Si precisa che i mezzi su elencati non funzioneranno mai tutti contemporaneamente, ma si alterneranno durante le varie fasi di lavoro e le attività previste.

Tabella 18 – Fattori di emissione per mezzi d'opera di cantiere

sorgenti emissive	PM10	NOX	U.M.	Fonte
Macchine operatrici	0.28	3.5	gr/h*kW	EEA-BV810v3-Other Mobile SouRes and Machinery – SNAP 0808XX tabella 8.5a

Per la stima delle emissioni dei mezzi operatrici, è stato fatto uso dei fattori di emissione della tabella precedente considerando un fattore specifico, Load-specific fuel consumption, riferito alle modalità di lavoro delle macchine pari al 30% come riportato in letteratura (fonte: Fuel consumption and engine load factors of equipment in quarrying of crushed stone Tomislav Korman, Trpimir Kujundžić Mario Klanfar February 2016 <https://www.researchgate.net/publication/296573614>)

Per i mezzi pesanti in transito sulle piste di cantiere i fattori di emissione degli scarichi sono stati desunti per mezzi pesanti dal sito di ISPRA Inventaria – fattori di emissione medi per mezzi pesanti (Heavy Duty Trucks) anno 2020.

Tabella 19 – Fattori di emissione (fonte Ispra)

inquinante	Fattore di emissione medi (g/km*veic)
PM10	0.1534
NOX	3.1316

### Riepilogo fattori di emissione

Nella seguente tabella si riepilogano i fattori di emissione individuati per le singole attività e per gli inquinanti allo studio PM10 e NOx.

Tabella 20 – Identificazione dei fattori di emissione per le singole attività di cantiere

Attività di cantiere	PM10		NOx	
	Fattore di emissione	Unità di misura	Fattore di emissione	Unità di misura
Scotico	0.024	Kg/h		Kg/h
Sbancamento	0.00039	kg/ton		kg/ton
Formazione cumulo (movimentazione materiale)	0.0002	kg/ton		kg/ton
Erosione del vento	0.00024	kg/h		kg/h
Carico del camion	0.0075	kg/ton		kg/ton

Scarico del camion	0.0005	kg/ton		kg/ton
Transito su piste non pavimentate	0.132773	kg/km*veic		kg/km*veic
Transito su piste pavimentate	0.002858	kg/km*veic		kg/km*veic
Emissioni dirette da motori delle macchine operatrici	0.2	kg/kW*h	7.0	kg/kW*h
Fattori di emissione medi per mezzi pesanti (exhaust)	0.000153	kg/ km*veic	0.003131	kg/ km*veic

Note:

unità di misura kg/t = kg di PM10 emesse per ton di materiale movimentato;

unità di misura kg/h = kg di PM10 emesse per ora di lavorazione;

unità di misura kg/km\*veic = kg di PM10 emesse per km percorso e camion;

unità di misura kg/kW\*h = kg di PM10 emesse per kW di potenza del macchinario (ruspa, dumper etc.) e per ora di lavorazione.

## 6.3 MODELLO DI DISPERSIONE

### 6.3.1 CALPUFF MODEL SYSTEM

Il sistema di modelli CALPUFF MODEL SYSTEM, inserito dall'U.S. EPA in Appendix W di "Guideline on Air Quality Models", è stato sviluppato da Sigma Research Corporation, ora parte di Earth Tech, Inc, con il contributo di California Air Resources Board (CARB).

Il sistema di modelli è composto da tre componenti:

- *Il preprocessore meteorologico CALMET: utile per la ricostruzione del campo tridimensionale di vento e temperatura all'interno del dominio di calcolo;*
- *Il processore CALPUFF: modello di dispersione, che 'inserisce' le emissioni all'interno del campo di vento generato da Calmet e ne studia il trasporto e la dispersione;*
- *Il postprocessore CALPOST: ha lo scopo di processare i dati di output di CALPUFF, in modo da renderli nel formato più adatto alle esigenze dell'utente.*

CALMET è un preprocessore meteorologico di tipo diagnostico, in grado di riprodurre campi tridimensionali di vento e temperatura e campi bidimensionali di parametri descrittivi della turbolenza. È adatto a simulare il campo di vento su domini caratterizzati da orografia complessa. Il campo di vento viene ricostruito attraverso stadi successivi, in particolare un campo di vento iniziale viene rielaborato per tenere conto degli effetti orografici, tramite interpolazione dei dati misurati alle centraline di monitoraggio e tramite l'applicazione di specifici algoritmi in grado di simulare l'interazione tra il suolo e le linee di flusso. Calmet è dotato, infine, di un modello micrometeorologico per la determinazione della struttura termica e meccanica (turbolenza) degli strati inferiori dell'atmosfera.

CALPUFF è un modello di dispersione 'a puff' multi-strato non stazionario. È in grado di simulare il trasporto, la dispersione, la trasformazione e la deposizione degli inquinanti, in condizioni meteorologiche variabili spazialmente e temporalmente. CALPUFF è in grado di utilizzare campi meteorologici prodotti da CALMET, oppure, in caso di simulazioni semplificate, di assumere un campo di vento assegnato dall'esterno, omogeneo all'interno del dominio di calcolo. CALPUFF contiene diversi algoritmi che gli consentono, opzionalmente, di tenere conto di diversi fattori, quali: l'effetto scia dovuto agli edifici circostanti (building downwash) o allo stesso camino di emissione (stack-tip downwash), shear verticale del vento, deposizione secca ed umida, trasporto su superfici d'acqua e presenza di zone costiere, presenza di orografia complessa, ecc. CALPUFF è infine in grado di trattare diverse tipologie di sorgente emissiva, in base essenzialmente alle caratteristiche geometriche: sorgente puntiforme, lineare, areale, volumetrica.

CALPOST consente di elaborare i dati di output forniti da CALPUFF, in modo da ottenere i risultati in un formato adatto alle esigenze dell'utente. Tramite Calpost si possono ottenere dei file di output direttamente interfacciabili con software grafici per l'ottenimento di mappe di concentrazione.

### 6.3.2 IMPOSTAZIONI DEL MODELLO DI CALCOLO

Nel file di controllo del modello sono state impostate le seguenti opzioni:

- trasformazioni chimiche non considerate (condizione cautelativa);
- deposizione umida e umida non simulata (condizione cautelativa);

Per tutte le altre impostazioni sono stati utilizzati i valori di default consigliati. Per meglio valutare il reale impatto delle emissioni inquinanti considerate si sono inseriti nel codice di calcolo, file di controllo di CALPUFF, i coefficienti di ripartizione giornaliera delle emissioni da ogni area di cantiere e la disaggregazione media oraria per il traffico.

Per l'applicazione del codice di calcolo CALPUFF MODEL SYSTEM sono stati predisposti i necessari files di ingresso, per le simulazioni del periodo solare dell'anno 2021, configurazione del codice, realizzati come di seguito riportato in tabella.

**Tabella 21 – Configurazione CALPUFF per le sorgenti**

<i><b>Parametro</b></i>	<i><b>Descrizione</b></i>
Periodo	Anno solare 2022
Emissioni CANTIERE	Le emissioni di cantiere sono state rappresentate nel codice di calcolo come emissioni volumetriche ed inserite come variabili su scala oraria per le effettive ore di lavorazione del cantiere.
Meteorologia	La configurazione prevede impostazione di Meteorological Data Format (METFM ! METFM = 2 ! , METFM = 2 - ISC ASCII file (ISCMET.MET), come previsto nel Manuale Operativo del codice.
<i>Simulazioni</i>	
Dispersione	Sono state effettuate simulazioni "short term" per la valutazione della dispersione degli inquinanti emessi su scala oraria per il periodo di riferimento e per i due scenari
<i>Output</i>	
	Sono stati elaborati i dati di concentrazioni di polveri calcolati da CALPUFF sia nei "recettori discreti", ovvero in corrispondenza di punti selezionati come "sensibili" per valutare il rispetto dei limiti di legge, che come "recettori grigliati" per ottenere le mappe di isonconcentrazione sul dominio di indagine.

## 6.4 RISULTATI



Nelle seguenti tabelle i risultati puntuali delle simulazioni calcolate nei punti recettori individuati e a seguire le mappe di concentrazione per i principali parametri inquinanti.

**Tabella 22 – Risultati simulazioni esercizio – stato di cantiere**

RECETTORE	DESCRIZIONE	NO2 Media annuale	NO2 Percentile medie orarie	PM10 Media annuale	PM10 Percentile medie orarie
		[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]
R01	Abitazione	2.422	72.239	0.233	0.703
R02	Supermercato	4.044	57.407	0.308	0.561
R03	Ospedale	5.552	57.342	0.367	0.687
R04	Abitazione	3.399	55.227	0.224	0.494
R05	Abitazione	2.441	51.294	0.160	0.362
<b>Valori limite di legge</b>		<b>40</b>	<b>200</b>	<b>40</b>	<b>50</b>

Come evidente dalla tabella sopra riportata i risultati nei recettori presi a riferimento mostrano valori di concentrazione inferiori ai parametri di qualità dell'aria.