

Studio di Impatto Ambientale sul Programma Integrato di Intervento Post Expo

Artt. 23 e 27-bis del D.Lgs 152/2006 e s.m.i.

Artt. 4 e 5 della L.R. 5/2010 e s.m.i.

MIND: Progetto di rigenerazione per uno sviluppo
urbano sostenibile

Allegato 5 - Studio di modellistica atmosferica

Dicembre 2018

Valorizzare
Trasformare
Innovare



arexpo

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
3.1. Zonizzazione del territorio	5
3.2. Emissione degli inquinanti	6
4. QUALITÀ DELL'ARIA.....	10
4.1. Polveri sottili (PM ₁₀ e PM _{2,5})	13
4.2. Ossidi di azoto (NO ₂ e NO _x)	14
4.3. Monossido di carbonio (CO)	17
4.4. Biossido di zolfo (SO ₂)	17
4.5. Benzene (C ₆ H ₆)	18
5. DATI METEOROLOGICI	19
6. SIMULAZIONI MODELLISTICHE.....	31
6.1. Schema modellistico adottato	31
6.1.1. Il modello Weather Research and Forecasting (WRF)	32
6.1.2. Il modello CALMET	33
6.1.3. Il modello di simulazione CALPUFF.....	37
6.2. Dominio di simulazione e recettori	38
6.3. Scenari di traffico.....	41
6.4. Fase di cantiere.....	54
6.4.1. Demolizione degli edifici	56
6.4.2. Scotico del terreno superficiale.....	57
6.4.3. Perforazioni per pali di fondazione	57
6.4.4. Scavi e sbancamenti	58
6.4.5. Movimentazione delle terre e dei detriti.....	58
6.4.6. Risollevamento delle polveri da parte del vento.....	60
6.4.7. Transito dei mezzi su strade non asfaltate	61
6.4.8. Distribuzione temporale delle emissioni.....	63
6.4.9. Distribuzione spaziale delle emissioni	65
6.5. Stima impatto sulla qualità dell'aria	67
7. CONCLUSIONI.....	74

1. PREMESSA

Il presente documento contiene la descrizione metodologica delle attività svolte per valutare l'impatto sulla matrice aria del Programma Integrato di Intervento MIND (PII MIND, Milano Innovation District).

Si è utilizzata la catena modellistica WRF-CALMET-CALPUFF (dove WRF e CALMET sono i modelli meteorologici e CALPUFF è il modello di dispersione degli inquinanti in atmosfera) per simulare diversi scenari: l'Ante operam (2018), la fase di cantiere ed il Post operam (indicativamente 2029).

Il progetto in esame rappresenta uno dei più importanti progetti di rigenerazione urbana a livello internazionale con l'obiettivo di trasformazione l'intera area occupata dall'Esposizione universale nel futuro "Parco della Scienza, del Sapere e dell'Innovazione".

Ai fini del presente Studio si è considerato come scenario di riferimento quello proposto per il PII (col. C della tabella seguente), assumendolo a riferimento a seguito dei diversi scenari alternativi caratterizzati da un diverso rapporto tra le varie funzioni presenti sul sito (col. D ed E) pur mantenendo inalterata la somma totale prevista di slp (960.000).

Tabella 1: Funzioni previste dal Programma Integrato di Intervento MIND

Funzioni		Col. C	Col. D	Col. E
		Superfici complessive (scenario di riferimento indicativo PII)	Superfici complessive (scenario alternativo funzionale - Min)	Superfici complessive (scenario alternativo funzionale - Max)
		[m ²]	[m ²]	[m ²]
Funzioni private	TERZIARIO	305,000	215,000	350,000
	RESIDENZIALE	90,000	45,000	180,000
	COMMERCIALE	35,000	20,000	60,000
	RICETTIVO	15,000	10,000	30,000
	PRODUTTIVO	35,000	20,000	55,000
Funzioni pubbliche	HOUSING SOCIALE/ RESIDENZE PER STUDENTI	30,000	-	-
	ALTRI SERVIZI DI INTERESSE GENERALE	102,000	-	-
	CULTURALE/INTRATTENIMENTO	40,000	-	-
Ancore pubbliche	OSPEDALE GALEAZZI	86,000	-	-
	HUMAN TECHNOPOLE	35,000	-	-
	UNIVERSITA'	187,000	-	-
Totale Superfici		960,000.00	-	-

Rispetto allo scenario di riferimento utilizzato, le variazioni degli impatti sulla matrice aria del progetto risultano non significative per cui si può sicuramente affermare che le verifiche ed i risultati riportati valgono in generale per qualsiasi scenario possibile nei range sopra riportati per le funzioni private.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Si richiamano, di seguito, i valori limite per i principali inquinanti emessi. Tali limiti sono definiti dalla normativa italiana, in particolare contenuti nel Decreto legislativo 13 agosto 2010, n.155, in recepimento della Direttiva 2008/50/CE e sono indicati in funzione del periodo di mediazione e del livello di protezione.

Tabella 2: Valori limite di qualità dell'aria (Decreto legislativo 13 agosto 2010, n.155)

Inquinante	Livello di protezione	Periodo di mediazione	Valore limite
PM ₁₀	Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana	Giorno	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per l'anno civile (perc. 90,411)
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m ³
PM _{2,5}	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	25 µg/m ³
NO ₂	Valore limite orario per la protezione della salute umana	Ora	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per l'anno civile (perc. 99,795)
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m ³
NO _x	Valore limite per la protezione della vegetazione	Anno civile	30 µg/m ³
CO	Valore limite per la protezione della salute umana	Massimo giornaliero della media mobile calcolata su 8 ore	10 mg/m ³
SO ₂	Valore limite orario per la protezione della salute umana	Ora	350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per l'anno civile (perc. 99,726)
	Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana	Giorno	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per l'anno civile (perc. 99,178)
	Valore limite per la protezione della vegetazione	Anno civile	20 µg/m ³
C ₆ H ₆	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	5 µg/m ³

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'AREA MIND è ubicata nella Città Metropolitana di Milano, a Nord-Ovest rispetto al capoluogo lombardo (Figura 1), e ricade nel comune di Milano, ed in piccola parte nel comune di Rho. L'area occupa una superficie di 100 ettari, ha un'altitudine di circa 140 m.s.l.m. ed è caratterizzata da un territorio pianeggiante con la presenza di insediamenti produttivi, grandi infrastrutture di trasporto e agglomerati urbani.



Figura 1: Localizzazione dell' AREA MIND (in rosso) – fonte mappa: <http://www.cartografia.regione.lombardia.it>

Il progetto MIND si pone come obiettivo la riqualificazione dell'area che è stata adibita all'Esposizione Universale tenutasi da Maggio ad Ottobre 2015, incentrata sul tema "Nutrire il pianeta, energia per la vita". L'incarico di EXPO 2015 è stato assegnato a Milano dal Bureau International des Expositions il 31 Marzo 2008, a seguito della candidatura sottoposta nel 2006. Nei 184 giorni di esposizione si contano oltre 20 milioni di visitatori, più di 150 partecipanti e circa 5'000 eventi realizzati. L'emblema di EXPO 2015 è rappresentato dall'Albero della vita, struttura che si sviluppa in 37 metri di altezza, realizzata da un intreccio di legno ed acciaio.

3.1. Zonizzazione del territorio

La legislazione comunitaria e italiana prevede la suddivisione del territorio in zone e agglomerati sui quali svolgere l'attività di misura e poter così valutare il rispetto dei valori obiettivo e dei valori limite. La zonizzazione del territorio lombardo è regolamentata dall'art.3 del D.Lgs. 13 agosto 2010, n. 155.

Tale D.Lgs. richiede innanzitutto l'individuazione degli agglomerati, cui poi segue la delimitazione delle altre zone. Gli agglomerati sono individuati sulla base dell'assetto urbanistico, della popolazione residente e della densità abitativa. In particolare un agglomerato deve essere caratterizzato da una popolazione superiore a 250'000 abitanti o da una densità abitativa per km² superiore a 3'000 abitanti.

Le altre zone sono individuate, principalmente, sulla base di aspetti come il carico emissivo, l'orografia, le caratteristiche meteo-climatiche e il grado di urbanizzazione del territorio.

Con il DGR n. 2605 del 30 Novembre 2011 la regione Lombardia ha approvato la nuova suddivisione del territorio regionale in zone e agglomerati (Figura 2) ai sensi del D.Lgs. 155/2010. È stata quindi superata la precedente zonizzazione del 2007 approvata con DGR n. 5290 del 2 Agosto 2007, in ottemperanza al D.Lgs. 351/99. Il territorio regionale risulta pertanto suddiviso nelle seguenti aree: Agglomerati di Milano, Brescia e Bergamo, Pianura ad elevata urbanizzazione, Pianura, Prealpi e Appennino, Montagna e Fondovalle.

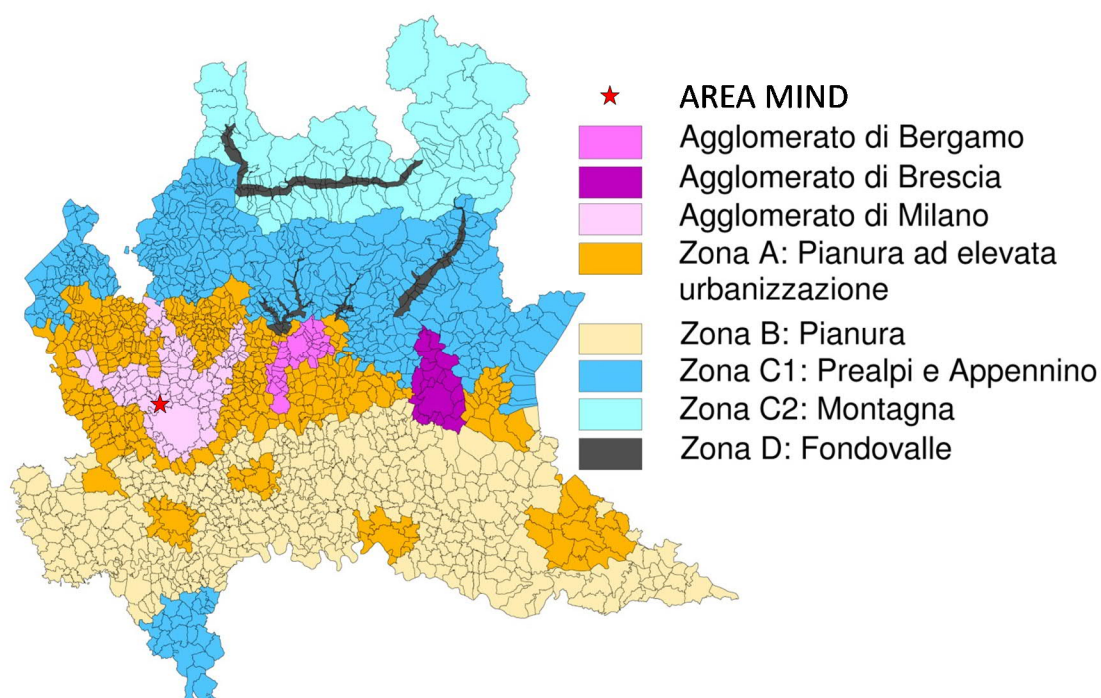


Figura 2: Zonizzazione della regione Lombardia per tutti gli inquinanti ad esclusione dell'ozono

3.2. Emissione degli inquinanti

Il progetto MIND ricade all'interno dell'Agglomerato di Milano, che è un'area caratterizzata da elevate emissioni di PM₁₀ primario e NO_x, come si evince dalle figure seguenti, ottenute attraverso l'inventario INEMAR 2014 di Regione Lombardia.

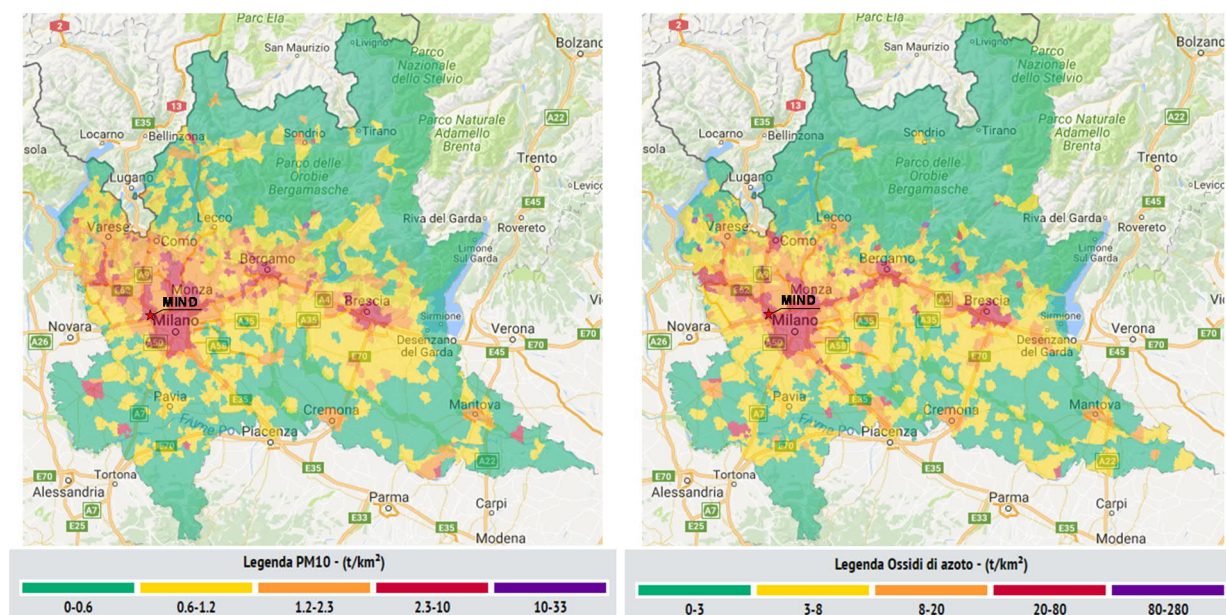


Figura 3: Mappa delle emissioni di PM₁₀ e NO_x contenute nell'inventario INEMAR 2014 (Fonte: ARPA Lombardia)

Le emissioni di INEMAR sono suddivise in 11 macrosettori:

1. Produzione energia e trasformazione combustibili
2. Combustione non industriale
3. Combustione nell'industria
4. Processi produttivi
5. Estrazione e distribuzione combustibili
6. Uso di solventi
7. Trasporto su strada
8. Altre sorgenti mobili e macchinari
9. Trattamento e smaltimento rifiuti
10. Agricoltura
11. Altre sorgenti e assorbimenti.

Considerando che il contributo delle emissioni legate al traffico costituisce l'unica fonte emissiva per lo scenario Ante operam (2018) e rappresenta il contributo preponderante nello scenario Post operam (2029), di seguito si riporta l'analisi degli inventari emissivi focalizzata in particolare sul macrosettore 7.

Nei comuni di Milano e Rho, la principale fonte emissiva di polveri, ossidi di azoto e monossido di carbonio è rappresentata dal trasporto su strada (come evidente dalla Tabella 3). Tale considerazione vale anche per la Città Metropolitana di Milano, mentre per la Regione Lombardia la principale fonte emissiva per il PM₁₀ è rappresentata dalla combustione non industriale (macrosettore 2) con un contributo pari al 43%. In termini di COV l'uso di solventi (macrosettore 6) è la principale fonte emissiva per le 4 realtà territoriali prese in esame.

Tabella 3: Emissioni INEMAR 2014 relative ai comuni di Milano e Rho

Scenario	Comune	Inquinanti [t/a]			
		PM ₁₀	NO _x	CO	COV
Emissioni INEMAR totali (tutti i macrosettori) [t/a]	Milano	754,2	6'463,9	8'636,5	10'831,8
	Rho	53,7	635,3	497,4	807,3
Emissioni INEMAR macrosettore 7 "Trasporto su strada" [t/a]	Milano	335,7	4'514,3	6'276,7	1'754,5
	Rho	29,1	431,2	389,9	79,3
Peso del macrosettore 7 rispetto alle emissioni totali [%]	Milano	45%	70%	73%	16%
	Rho	54%	68%	78%	10%
	Città Metropolitana di Milano	41%	68%	57%	12%
	Regione Lombardia	25%	54%	34%	7%

Nella figura seguente si riporta il peso del macrosettore 7 (Trasporto su strada) rispetto alle emissioni totali dei comuni di Milano e Rho, rapportate con il contesto provinciale e regionale di appartenenza.

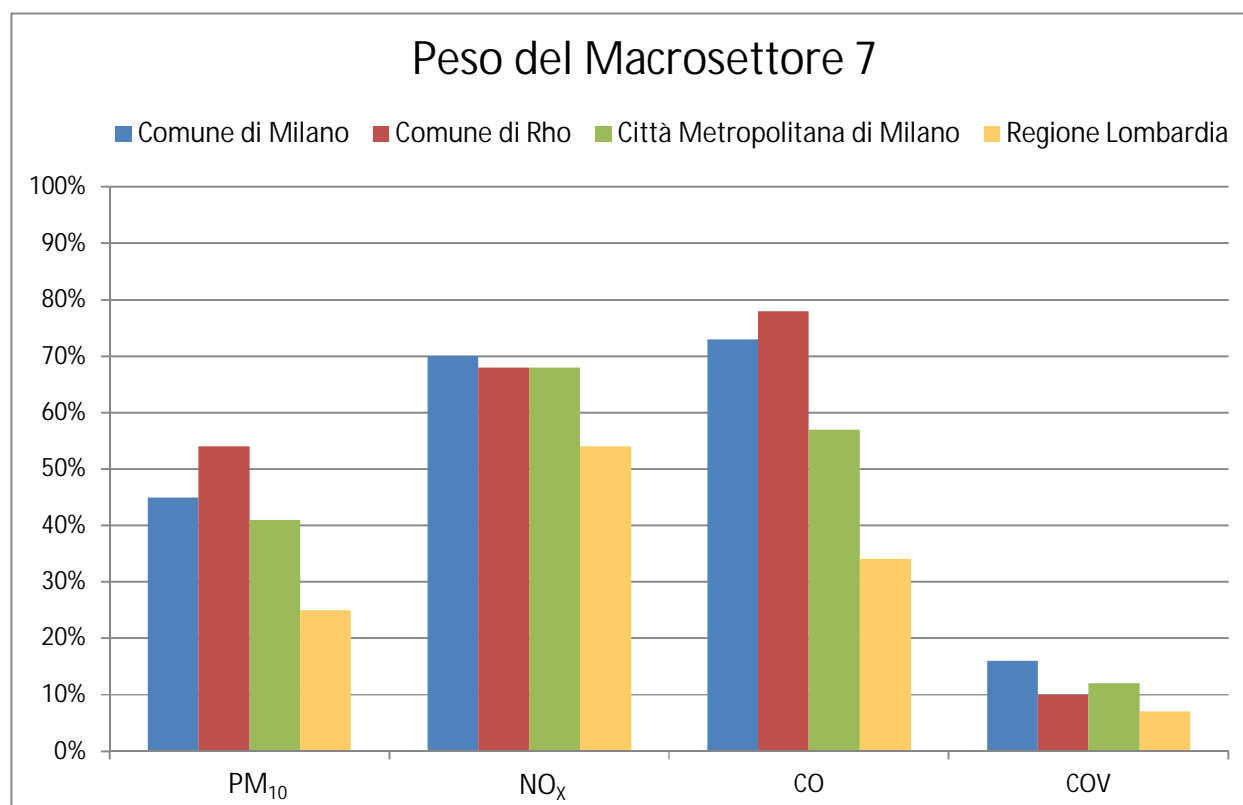


Figura 4: Confronto del peso percentuale del macrosettore "Trasporto su strada" per inquinante

Rispetto al 2012 (anno in cui ARPA Lombardia ha ricostruito il precedente inventario emissivo) le emissioni regionali dell'inventario 2014 risultano in diminuzione per i 4 inquinanti considerati sia a livello complessivo (-6% mediamente) che in relazione al trasporto su strada (-5% mediamente). A livello provinciale si evince una diminuzione delle emissioni del macrosettore 7 (-4% in media), a fronte però di un incremento delle emissioni complessive del 2014 in termini di PM₁₀ dell'8% e di CO

e COV del 2%. Per quanto riguarda i comuni di Milano e Rho, le emissioni del 2014 relative alla categoria del trasporto su strada risultano inferiori rispetto al 2012 per tutti gli inquinanti d'interesse, ad eccezione degli NO_x per il comune di Milano, caratterizzati da un incremento comunque minimo pari al 2%. Nella figura seguente si riporta la differenza percentuale tra le emissioni degli inventari emissivi INEMAR degli anni 2014 e 2012 in relazione al macrosettore 7 per le realtà territoriali prese in esame.

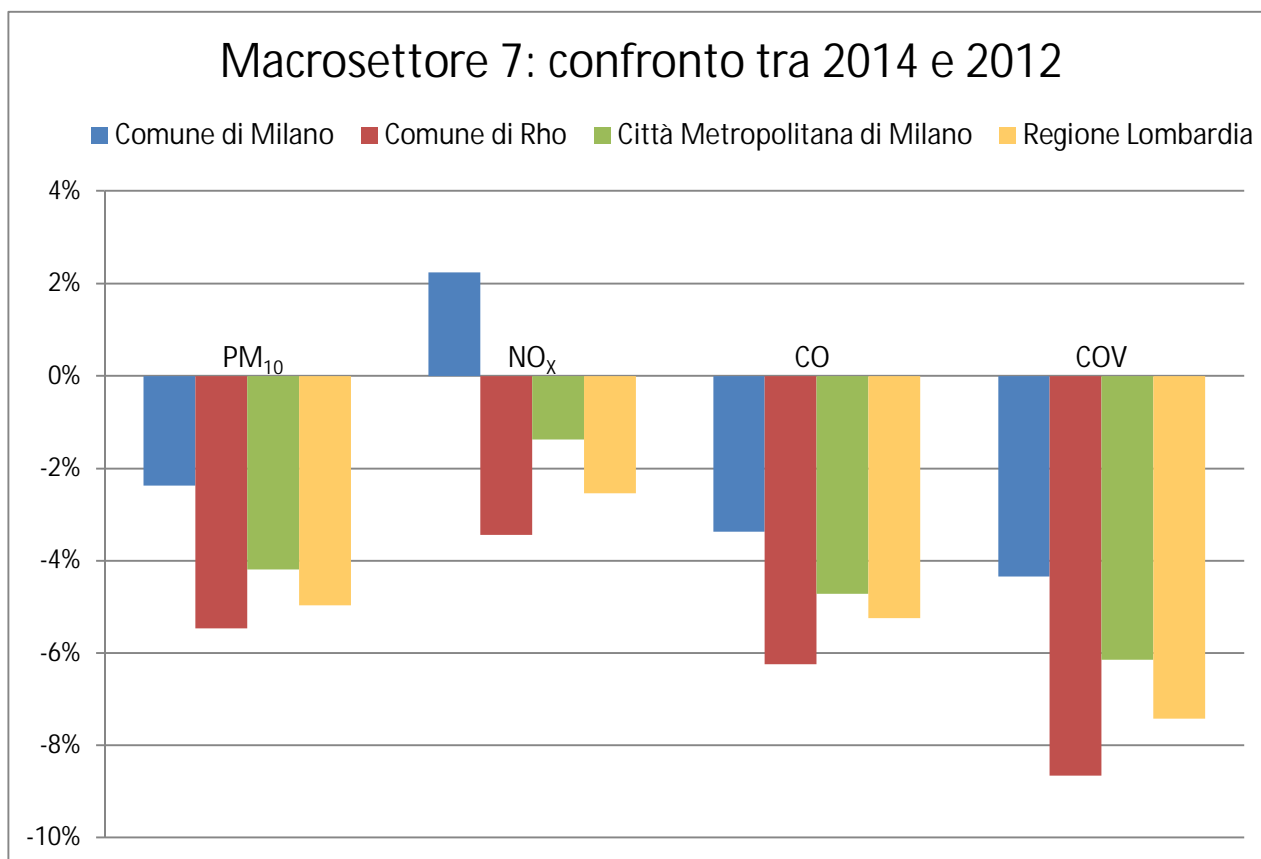


Figura 5: Differenza percentuale delle emissioni del macrosettore "Trasporto su strada" per inquinante tra gli inventari emissivi del 2014 e del 2012

4. QUALITÀ DELL'ARIA

Nel presente capitolo è analizzata la qualità dell'aria della zona circostante l'opera in esame, considerando le centraline di monitoraggio localizzate entro un raggio di 12 km dal perimetro dell'AREA MIND. Le caratteristiche di tali centraline, tutte appartenenti alla rete di monitoraggio regionale di ARPA Lombardia, sono riportate in Tabella 4, mentre in Figura 6 è rappresentata la loro ubicazione.

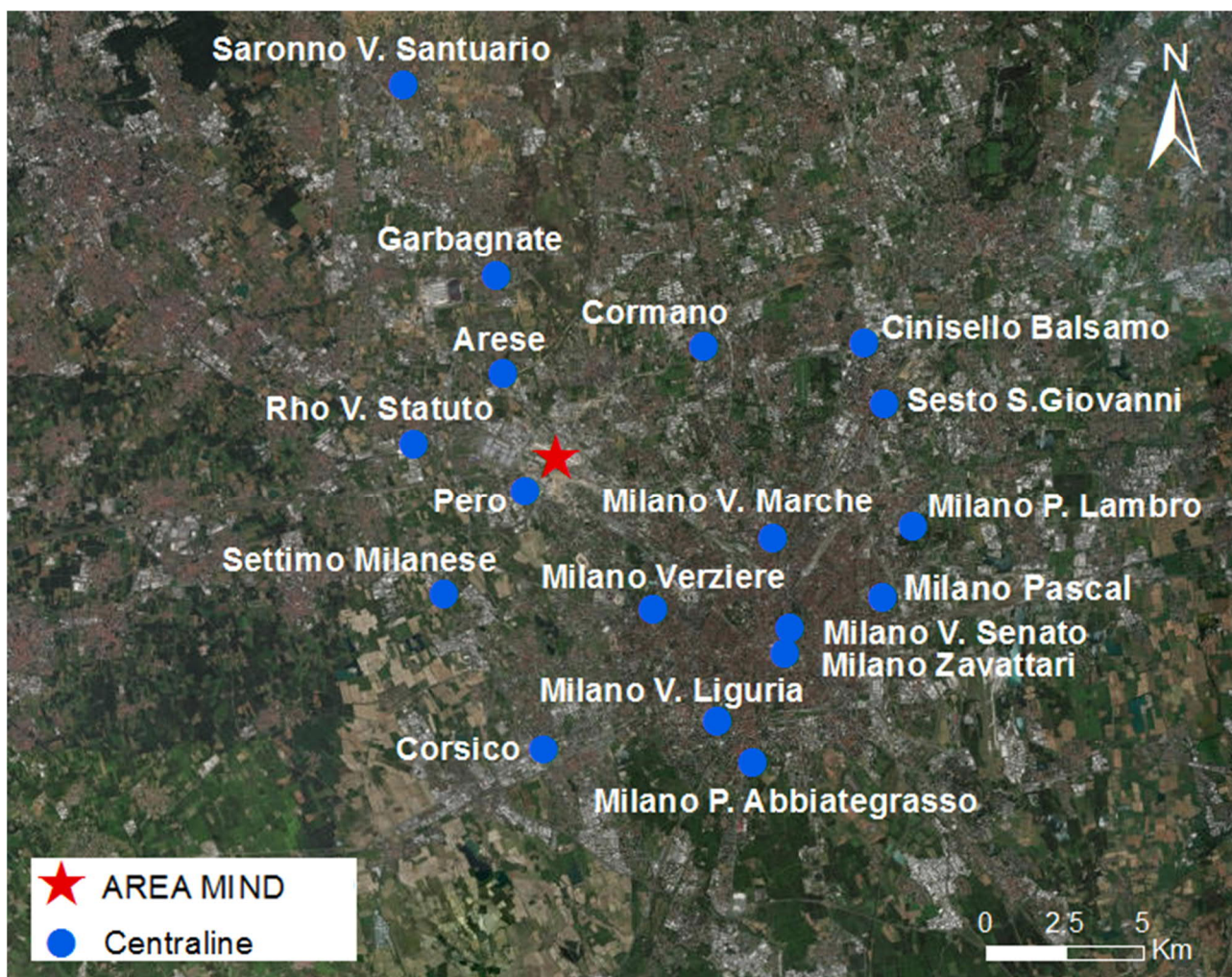


Figura 6: Localizzazione delle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria considerate

Tabella 4: Caratteristiche delle stazioni di qualità dell'aria considerate

Stazione	Tipologia	Inquinanti monitorati	Distanza da AREA MIND [km]
Pero	Traffico Urbana	NO ₂ , NO _x , CO	1,2
Arese	Fondo Urbana	PM ₁₀ , NO ₂ , NO _x	2,1
Rho V. Statuto	Fondo Urbana	NO ₂ , NO _x , CO	3,2
Milano Zavattari	Traffico Urbana	NO ₂ , NO _x , CO, C ₆ H ₆	4,9
Garbagnate	Fondo Urbana	NO ₂ , NO _x	5,1
Cormano	Fondo Urbana	NO ₂ , NO _x , SO ₂	5,1
Settimo Milanese	Fondo Urbana	NO ₂ , NO _x	5,3
Milano V. Marche	Traffico Urbana	NO ₂ , NO _x , CO, C ₆ H ₆	6,2
Milano V. Senato	Traffico (ZTL) Urbana	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , NO _x , CO, C ₆ H ₆	8,1
Milano Verziere	Traffico (ZTL) Urbana	PM ₁₀ , NO ₂ , NO _x	8,5
Corsico	Traffico Urbana	NO ₂ , NO _x , CO	8,9
Milano V. Liguria	Traffico Urbana	NO ₂ , NO _x , CO	9,0
Cinisello Balsamo	Traffico Urbana	NO ₂ , NO _x	9,5
Sesto S. Giovanni	Traffico Urbana	NO ₂ , NO _x , CO	9,5
Milano Pascal	Fondo Urbana	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , NO _x , SO ₂ , C ₆ H ₆	10,2
Milano P. Lambro	Fondo Suburbana	NO ₂ , NO _x	10,4
Milano P. Abbiategrasso	Fondo Urbana	NO ₂ , NO _x	10,7
Saronno V. Santuario	Fondo Suburbana	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , NO _x	11,8

Nelle tabelle seguenti si riportano le completezze dei dati monitorati dalle centraline di qualità dell'aria per il triennio 2015 - 2017. Ai sensi del Decreto Legislativo 155/2010, ai fini della valutazione della qualità dell'aria su base annua, per ogni analizzatore in continuo l'insieme dei dati raccolti è considerato conforme ed utilizzabile per il calcolo dei parametri statistici quando il periodo minimo di copertura (rendimento strumentale) è almeno pari al 90%. Come emerge dalle tabelle seguenti, per il triennio considerato, diverse stazioni presentano valori di completezza dei dati inferiori a tale soglia. Nei paragrafi seguenti si riporta l'analisi specifica per ciascun inquinante. In rosso sono indicati i superamenti dei rispettivi limiti di legge.

Tabella 5: Completezza dei dati rilevati dalle centraline di qualità dell'aria nell'anno 2015

Stazione	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	NO _x	CO	SO ₂	C ₆ H ₆
Pero	-	-	90%	90%	92%	-	-
Arese	87%	-	93%	94%	-	-	-
Rho V. Statuto	-	-	81%	81%	90%	-	-
Milano Zavattari	-	-	92%	92%	99%	-	60%
Garbagnate	-	-	87%	87%	-	-	-
Cormano	-	-	89%	89%	-	65%	-
Settimo Milanese	-	-	68%	69%	-	-	-
Milano V. Marche	-	-	99%	99%	98%	-	96%
Milano V. Senato	98%	98%	99%	99%	100%	-	91%
Milano Verziere	92%	-	96%	96%	-	-	-
Corsico	-	-	78%	78%	95%	-	-
Milano V. Liguria	-	-	99%	99%	98%	-	-
Cinisello Balsamo	-	-	83%	83%	-	-	-
Sesto S. Giovanni	-	-	90%	90%	86%	-	-
Milano Pascal	94%	94%	96%	97%	-	96%	97%
Milano P. Lambro	-	-	83%	86%	-	-	-
Milano P. Abbiategrasso	-	-	89%	92%	-	-	-
Saronno V. Santuario	100%	98%	100%	100%	-	-	-

Tabella 6: Completezza dei dati rilevati dalle centraline di qualità dell'aria nell'anno 2016

Stazione	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	NO _x	CO	SO ₂	C ₆ H ₆
Pero	-	-	84%	83%	67%	-	-
Arese	78%	-	100%	100%	-	-	-
Rho V. Statuto	-	-	93%	93%	93%	-	-
Milano Zavattari	-	-	96%	96%	95%	-	85%
Garbagnate	-	-	96%	96%	-	-	-
Cormano	-	-	91%	91%	-	75%	-
Settimo Milanese	-	-	82%	82%	-	-	-
Milano V. Marche	-	-	99%	99%	98%	-	91%
Milano V. Senato	96%	94%	97%	97%	91%	-	85%
Milano Verziere	96%	-	98%	98%	-	-	-
Corsico	-	-	96%	96%	88%	-	-
Milano V. Liguria	-	-	88%	88%	92%	-	-
Cinisello Balsamo	-	-	98%	98%	-	-	-
Sesto S. Giovanni	-	-	99%	100%	91%	-	-
Milano Pascal	93%	90%	89%	90%	-	88%	92%
Milano P. Lambro	-	-	95%	95%	-	-	-
Milano P. Abbiategrasso	-	-	98%	89%	-	-	-
Saronno V. Santuario	99%	97%	99%	99%	-	-	-

Tabella 7: Completezza dei dati rilevati dalle centraline di qualità dell'aria nell'anno 2017

Stazione	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	NO _x	CO	SO ₂	C ₆ H ₆
Pero	-	-	92%	92%	99%	-	-
Arese	99%	-	100%	100%	-	-	-
Rho V. Statuto	-	-	98%	98%	95%	-	-
Milano Zavattari	-	-	93%	93%	94%	-	73%
Garbagnate	-	-	97%	97%	-	-	-
Cormano	-	-	98%	98%	-	86%	-
Settimo Milanese	-	-	84%	85%	-	-	-
Milano V. Marche	-	-	95%	95%	97%	-	83%
Milano V. Senato	98%	96%	98%	98%	93%	-	44%
Milano Verziere	97%	-	98%	98%	-	-	-
Corsico	-	-	96%	96%	96%	-	-
Milano V. Liguria	-	-	91%	91%	100%	-	-
Cinisello Balsamo	-	-	96%	96%	-	-	-
Sesto S. Giovanni	-	-	72%	72%	94%	-	-
Milano Pascal	90%	90%	95%	95%	-	93%	99%
Milano P. Lambro	-	-	77%	77%	-	-	-
Milano P. Abbiategrasso	-	-	95%	95%	-	-	-
Saronno V. Santuario	98%	96%	100%	100%	-	-	-

4.1. Polveri sottili (PM₁₀ e PM_{2,5})

Le concentrazioni medie annue di PM₁₀ riportate in Tabella 8 superano talvolta il limite normativo pari a 40 µg/m³ e in diversi casi si attestano comunque in prossimità del valore limite.

Tabella 8: Concentrazioni medie annue di PM₁₀ per il periodo 2015 - 2017

Stazione	Media annuale PM ₁₀ [µg/m³]			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)
	2015	2016	2017	
Arese	43*	40*	39	40 µg/m³
Milano V. Senato	40	35	40	
Milano Verziere	40	34	39	
Milano Pascal	42	38	40	
Saronno V. Santuario	33	30	35	
(*) Il sensore non ha raggiunto l'efficienza minima del 90% prevista dal D.Lgs. 155/2010				

La situazione appare ancora più critica analizzando il numero di superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ imposto dalla normativa, che sono al di sopra dei 35 consentiti per l'intero triennio per tutte le centraline considerate.

Tabella 9: Superamenti del limite giornaliero di PM₁₀ per il periodo 2015 - 2017

Stazione	Superamenti limite giornaliero PM ₁₀			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)
	2015	2016	2017	
Arese	102*	73*	92	50 µg/m³ da non superare più di 35 volte per anno civile
Milano V. Senato	101	61	97	
Milano Verziere	91	58	82	
Milano Pascal	100	73	92	
Saronno V. Santuario	75	57	67	
(*) Il sensore non ha raggiunto l'efficienza minima del 90% prevista dal D.Lgs. 155/2010				

Le concentrazioni di PM_{2,5} non rispettano il limite normativo di 25 µg/m³ in corrispondenza delle centraline del comune di Milano, ad eccezione dell'anno 2016 per la stazione di Milano V. Senato.

Tabella 10: Concentrazioni medie annue di PM_{2,5} per il periodo 2015 - 2017

Stazione	Media annuale PM _{2,5} [µg/m ³]			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)
	2015	2016	2017	
Milano V. Senato	29	21	27	25 µg/m ³
Milano Pascal	32	28	29	
Saronno V. Santuario	25	22	23	

4.2. Ossidi di azoto (NO₂ e NO_x)

Gli ossidi di azoto sono monitorati da tutte le centraline considerate nel presente studio. Le concentrazioni medie annue di NO₂ riportate in Tabella 11 risultano sempre al di sopra del limite normativo pari a 40 µg/m³, almeno per un anno, ad eccezione delle stazioni di Garbagnate, Milano P. Abbiategrasso e Saronno. Per quanto riguarda il limite orario di 200 µg/m³ imposto dalla normativa, si verifica invece un superamento del limite in corrispondenza di Milano V. Liguria nell'anno 2015 (

Tabella 12).

Nessuna delle centraline analizzate è idonea alla valutazione della protezione della vegetazione secondo le prescrizioni dell'allegato III, paragrafo 3, punto 2, del D.Lgs. 155/2010, pertanto il limite normativo pari a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la concentrazione media annua di NO_x non risulta applicabile a nessuna centralina delle province di Milano di Varese (Fonte: Rapporto sulla qualità dell'aria della Città Metropolitana di Milano/Provincia di Varese - anno 2016; ultimo rapporto ad oggi disponibile).

Tabella 11: Concentrazioni medie annue di NO₂ per il periodo 2015 - 2017

Stazione	Media annuale NO ₂ [µg/m³]			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)	
	2015	2016	2017	NO ₂	NO _x
Pero	53	44*	38	40 µg/m³	30** µg/m³
Arese	47	45	45		
Rho V. Statuto	52*	44	46		
Milano Zavattari	67	52	50		
Garbagnate	32*	38	39		
Cormano	47*	45	48		
Settimo Milanese	53*	40*	39*		
Milano V. Marche	75	67	64		
Milano V. Senato	57	56	54		
Milano Verziere	48	48	48		
Corsico	53*	46	48		
Milano V. Liguria	68	58*	56		
Cinisello Balsamo	51*	56	61		
Sesto S. Giovanni	60	43	56*		
Milano Pascal	45	43*	45		
Milano P. Lambro	42*	40	35*		
Milano P. Abbiategrasso	37	32	35		
Saronno V. Santuario	38	36	39		
(*) Il sensore non ha raggiunto l'efficienza minima del 90% prevista dal D.Lgs. 155/2010					
(**) Il limite non è applicabile in quanto nessuna stazione è idonea alla valutazione della protezione della vegetazione secondo le prescrizioni dell'allegato III, paragrafo 3, punto 2, del D.Lgs. 155/2010					

Tabella 12: Superamenti del limite orario di NO₂ per il periodo 2015 - 2017

Stazione	Superamenti limite orario NO ₂			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)
	2015	2016	2017	
Pero	1	0*	0	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per anno civile
Arese	0	0	0	
Rho V. Statuto	0*	0	2	
Milano Zavattari	0	0	0	
Garbagnate	0*	0	0	
Cormano	0*	2	7	
Settimo Milanese	0*	0*	0*	
Milano V. Marche	2	0	11	
Milano V. Senato	0	0	0	
Milano Verziere	0	0	0	
Corsico	1*	1	9	
Milano V. Liguria	57	7*	11	
Cinisello Balsamo	0*	3	2	
Sesto S. Giovanni	1	0	2*	
Milano Pascal	0	0*	0	
Milano P. Lambro	0*	0	0*	
Milano P. Abbiategrasso	0	0	1	
Saronno V. Santuario	0	0	0	
(*) Il sensore non ha raggiunto l'efficienza minima del 90% prevista dal D.Lgs. 155/2010				

4.3. Monossido di carbonio (CO)

La normativa impone per il monossido di carbonio il limite di 10 mg/m³ sul massimo giornaliero della media mobile calcolata su 8 ore, che risulta rispettato in tutte le centraline per l'intero triennio considerato, come emerge da Tabella 13.

Tabella 13: Massima media giornaliera calcolata su 8 ore di CO per il periodo 2015 - 2017

Tabella 15: Massima media giornaliera calcolata su 8 ore di CO per il periodo 2015 - 2017				
Stazione	Max media mobile CO [mg/m³]			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)
	2015	2016	2017	
Pero	3,1	2,8*	3,1	10 mg/m³
Rho V. Statuto	3,7	3,3	3,0	
Milano Zavattari	3,3	3,8	3,5	
Milano V. Marche	4,1	3,8	3,8	
Milano V. Senato	3,1	3,2	2,8	
Corsico	2,5	2,6*	2,7	
Milano V. Liguria	3,7	2,7	3,3	
Sesto S. Giovanni	3,6*	3,5	3,1	
(*) Il sensore non ha raggiunto l'efficienza minima del 90% prevista dal D.Lgs. 155/2010				

4.4. Biossido di zolfo (SO₂)

Il biossido di zolfo è monitorato solo nelle stazioni di Cormano e di Milano Pascal. Le concentrazioni medie annue di SO₂, riportate in Tabella 14, rispettano ampiamente il limite normativo di 20 µg/m³. Per quanto riguarda sia il limite giornaliero 125 µg/m³, da non superare più di 3 volte per anno civile

(Tabella 15), che il limite orario di 350 µg/m³, da non superare più di 24 volte per anno civile (Tabella 16), non si verificano superamenti.

Tabella 14: Concentrazioni medie annue di SO₂ per il periodo 2015 - 2017

Stazione	Media annuale SO ₂ [µg/m ³]			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)
	2015	2016	2017	
Cormano	7,3*	5,4*	3,0*	20 µg/m ³
Milano Pascal	4,0	5,0*	3,4	
(*) Il sensore non ha raggiunto l'efficienza minima del 90% prevista dal D.Lgs. 155/2010				

Tabella 15: Superamenti del limite giornaliero di SO₂ per il periodo 2015 - 2017

Stazione	Superamenti limite giornaliero SO ₂			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)
	2015	2016	2017	
Cormano	0*	0*	0*	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
Milano Pascal	0	0*	0	
(*) Il sensore non ha raggiunto l'efficienza minima del 90% prevista dal D.Lgs. 155/2010				

Tabella 16: Superamenti del limite orario di SO₂ per il periodo 2015 - 2017

Stazione	Superamenti limite orario SO ₂			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)
	2015	2016	2017	
Cormano	0*	0*	0*	350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile
Milano Pascal	0	0*	0	
(*) Il sensore non ha raggiunto l'efficienza minima del 90% prevista dal D.Lgs. 155/2010				

4.5. Benzene (C₆H₆)

Le concentrazioni medie annue di benzene riportate in Tabella 17 rispettano il limite normativo pari a 5 µg/m³ per l'intero triennio per tutte le centraline considerate.

Tabella 17: Concentrazioni medie annue di C₆H₆ per il periodo 2015 - 2017

Stazione	Media annuale C ₆ H ₆ [µg/m ³]			Valore limite (D.Lgs. 155/2010)
	2015	2016	2017	
Milano Zavattari	2,0*	1,4*	1,2*	5 µg/m ³
Milano V. Marche	2,0	1,9	2,7*	
Milano V. Senato	2,1	1,6*	2,2*	
Milano Pascal	1,9	1,6	1,7	
(*) Il sensore non ha raggiunto l'efficienza minima del 90% prevista dal D.Lgs. 155/2010				

5. DATI METEOROLOGICI

Nel presente capitolo è presente l'analisi dei dati meteorologici delle stazioni ARPA Lombardia più prossime all'AREA MIND, la cui posizione è riportata in Figura 7.



Figura 7: Localizzazione delle centraline metereologiche in prossimità dell'AREA MIND

In particolare, sono stati analizzati i dati meteorologici orari dell'ultimo triennio (2015 - 2017), per le seguenti variabili di interesse:

- o direzione del vento;
- o velocità del vento;
- o temperatura;
- o umidità relativa;
- o precipitazione;
- o pressione atmosferica;
- o radiazione solare.

Si precisa che i dati delle stazioni di Rho sono disponibili a partire dal 24 Febbraio 2015.

Tabella 18: Completezza dei parametri meteorologici rilevati nel periodo 2015 - 2017 nella stazione di Rho Tetto

Completezza [%]			
Parametro	2015	2016	2017
Direzione del vento	84,6	99,3	99,9
Velocità del vento	84,6	99,3	100

Tabella 19: Completezza dei parametri meteorologici rilevati nel periodo 2015 - 2017 nella stazione di Rho Prato

Completezza [%]			
Parametro	2015	2016	2017
Temperatura	83,0	98,7	99,9
Umidità relativa	83,0	99,3	99,3
Precipitazione	84,4	94,0	99,8

Tabella 20: Completezza dei parametri meteorologici rilevati nel periodo 2015 - 2017 nella stazione di Milano Zavattari

Completezza [%]			
Parametro	2015	2016	2017
Direzione del vento	98,5	99,9	99,1
Velocità del vento	99,4	99,9	99,2
Temperatura	98,5	99,8	99,1
Umidità relativa	98,9	98,9	98,4
Precipitazione	97,1	92,4	96,6

Tabella 21: Completezza della pressione rilevata nel periodo 2015 - 2017 nella stazione Milano V. Brera

Completezza [%]			
Parametro	2015	2016	2017
Pressione	-	25,5	99,9

Tabella 22: Completezza della radiazione solare rilevata nel periodo 2015 - 2017 nella stazione di Cinisello Balsamo

Completezza [%]			
Parametro	2015	2016	2017
Radiazione solare globale	99,5	99,9	99,9

Le stazioni meteorologiche posizionate a Rho sono state utilizzate per scegliere l'anno di riferimento per effettuare le simulazioni modellistiche.

Dall'analisi delle rose dei venti della centralina di Rho Tetto, riportate nelle figure seguenti, si evince un campo anemologico coerente in termini di direzione e velocità del vento per il triennio considerato: la direzione del vento principale risulta essere Est-Sud-Est e secondariamente Ovest-Sud-Ovest e Nord-Nord-Est.

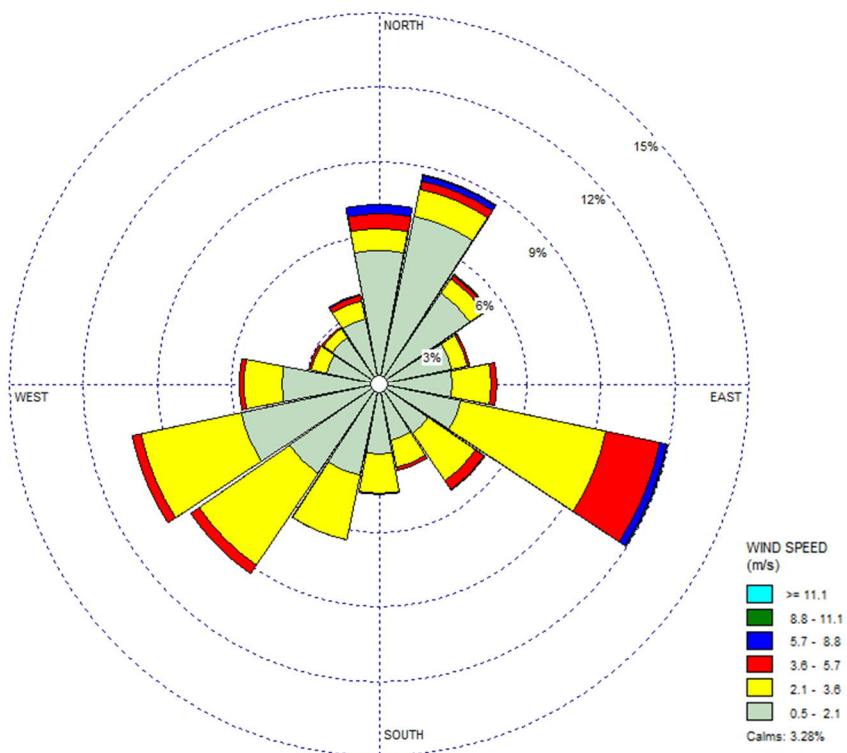


Figura 8: Rosa dei venti per l'anno 2015 relativa alla stazione di Rho Tetto

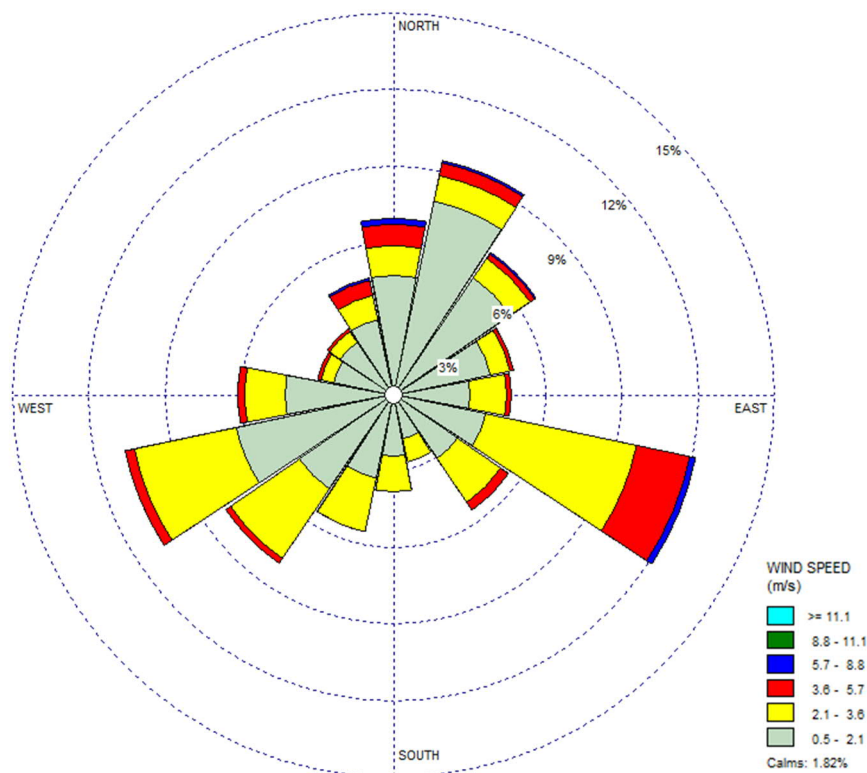


Figura 9: Rosa dei venti per l'anno 2016 relativa alla stazione di Rho Tetto

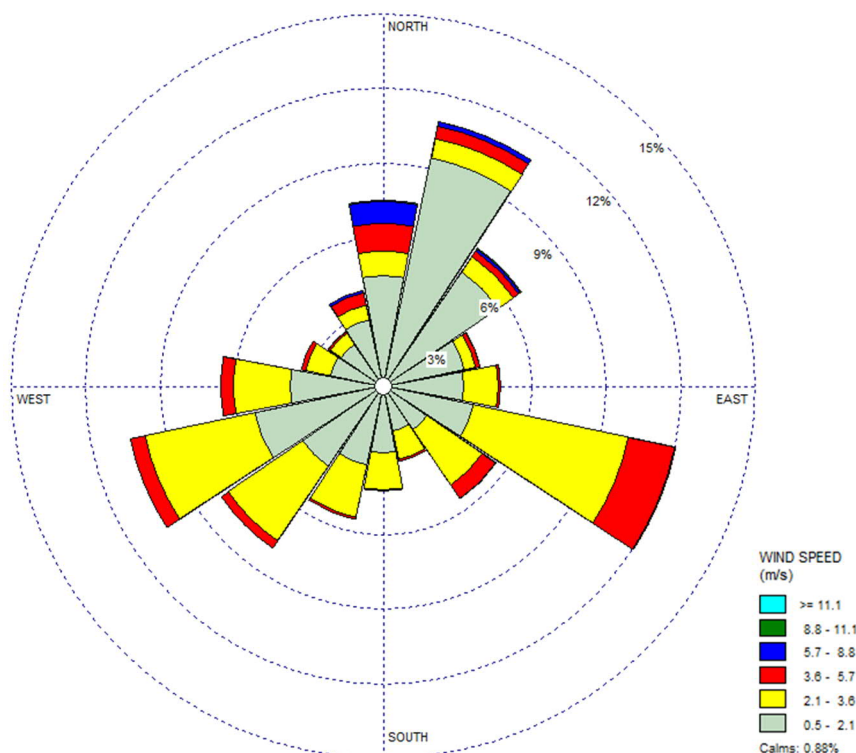


Figura 10: Rosa dei venti per l'anno 2017 relativa alla stazione di Rho Tetto

Nella figura successiva è riportata la frequenza delle classi di velocità del vento registrata presso la centralina di Rho Tetto per il triennio considerato; come si può notare, la velocità preponderante è quella con valori compresi tra 0,5 e 2,1 m/s.

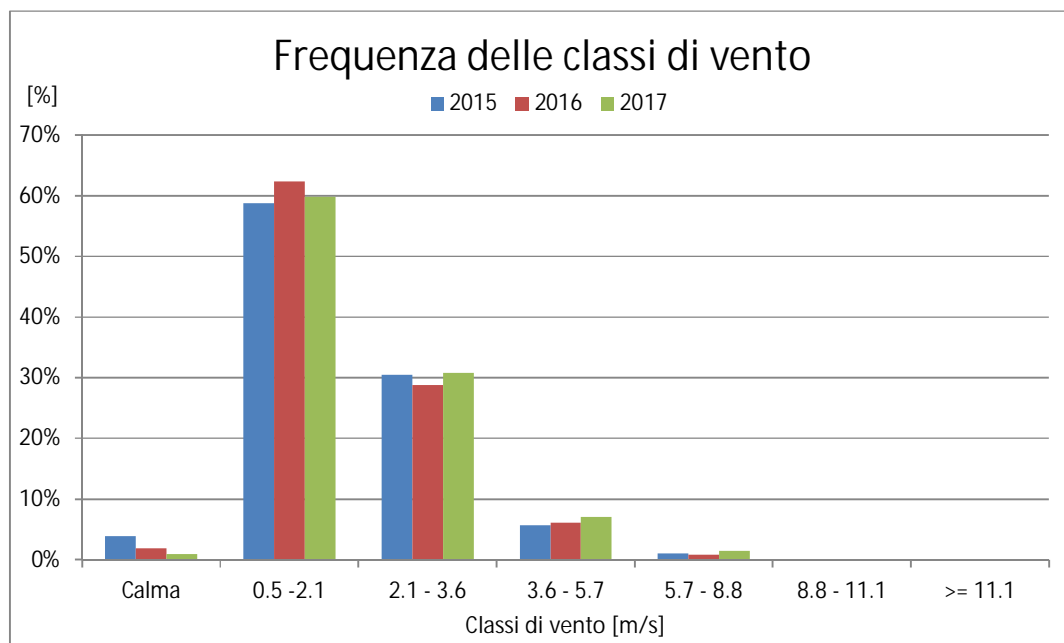


Figura 11: Frequenza delle classi di direzione del vento rilevate presso la centralina di Rho Tetto

L'analisi dei dati di temperatura della stazione di Rho permette di osservare che, come mostrato in Figura 12, la temperatura media mensile in inverno (Dicembre, Gennaio e Febbraio) è compresa tra 0 e 6°C, mentre nel mese di Luglio raggiunge e supera i 25°C per l'intero triennio considerato. Le temperature massime raggiungono i 37,5°C (Agosto 2017) e le temperature minime scendono al di sotto degli 0°C, come mostrato rispettivamente in Figura 13 e Figura 14.

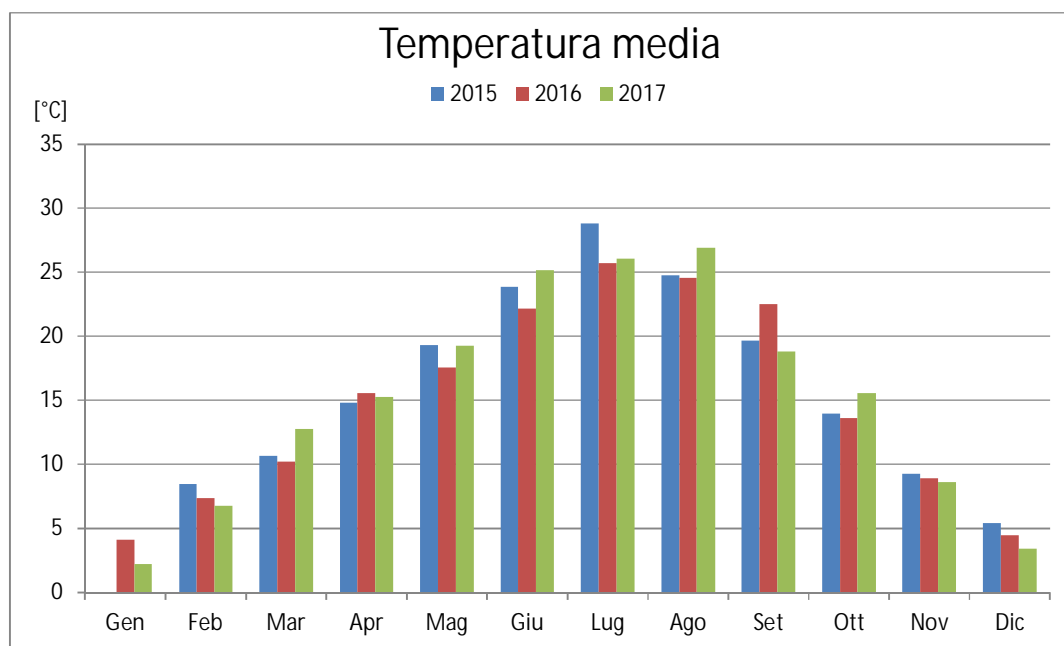


Figura 12: Temperature medie mensili per la stazione di Rho Prato

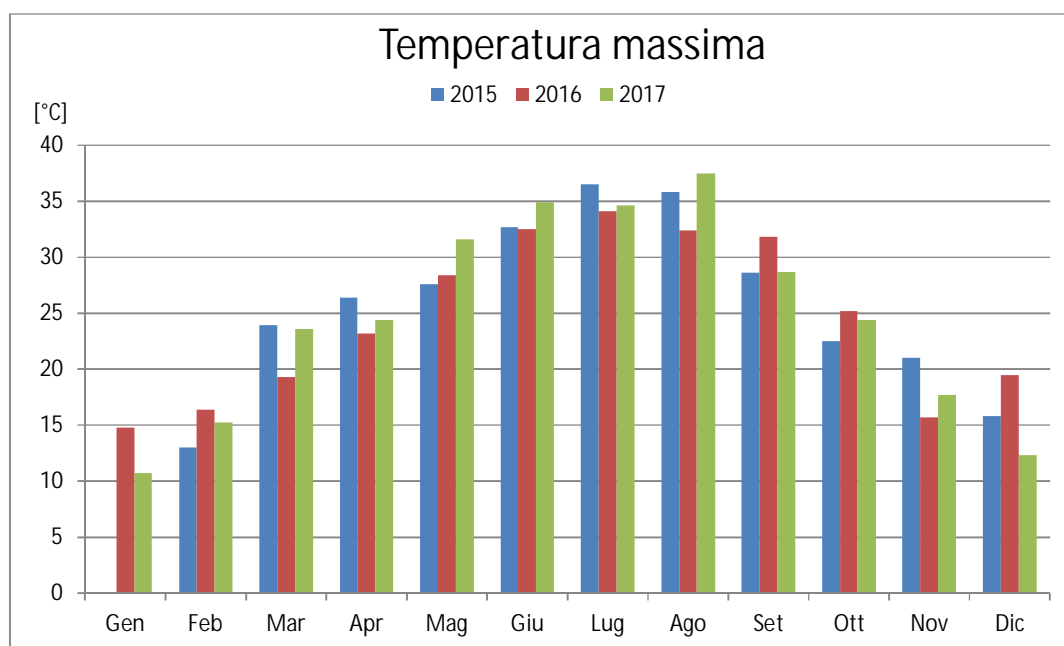


Figura 13: Temperature massime mensili per la stazione di Rho Prato

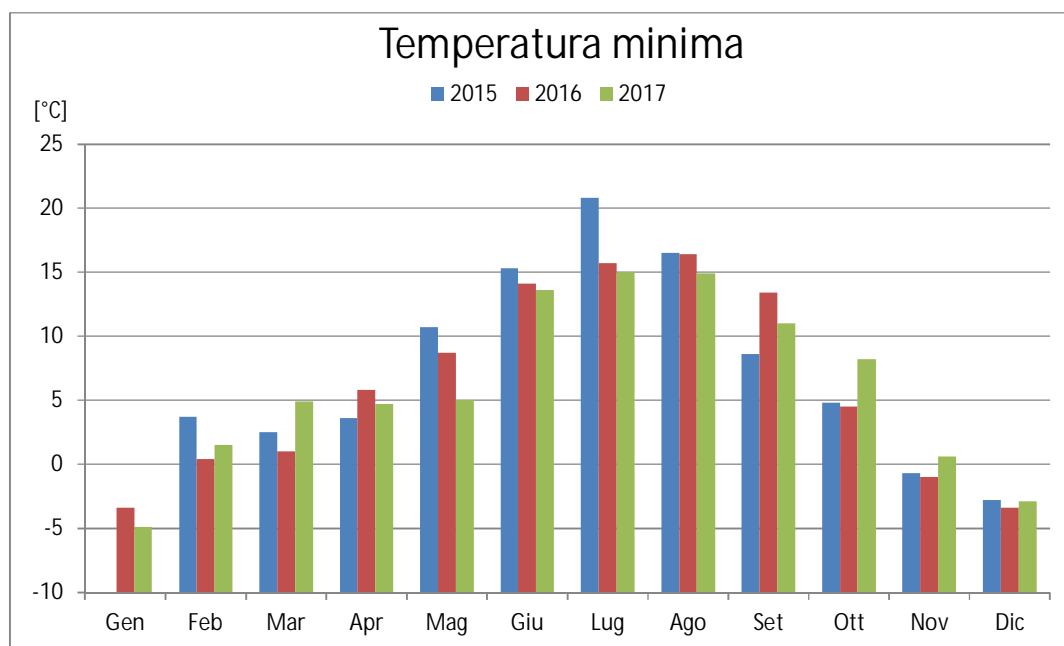


Figura 14: Temperature minime mensili per la stazione di Rho Prato

In termini di umidità relativa, si riporta l'andamento mensile del triennio 2015 - 2017 e si evince una variabilità tra Marzo e Settembre, con valori al di sotto del 65%, rispetto ai restanti mesi dell'anno in cui si registrano valori più elevati che raggiungono al massimo il 90%. Si ricorda che il dato di Febbraio 2015 è parziale e relativo solo a pochi giorni.

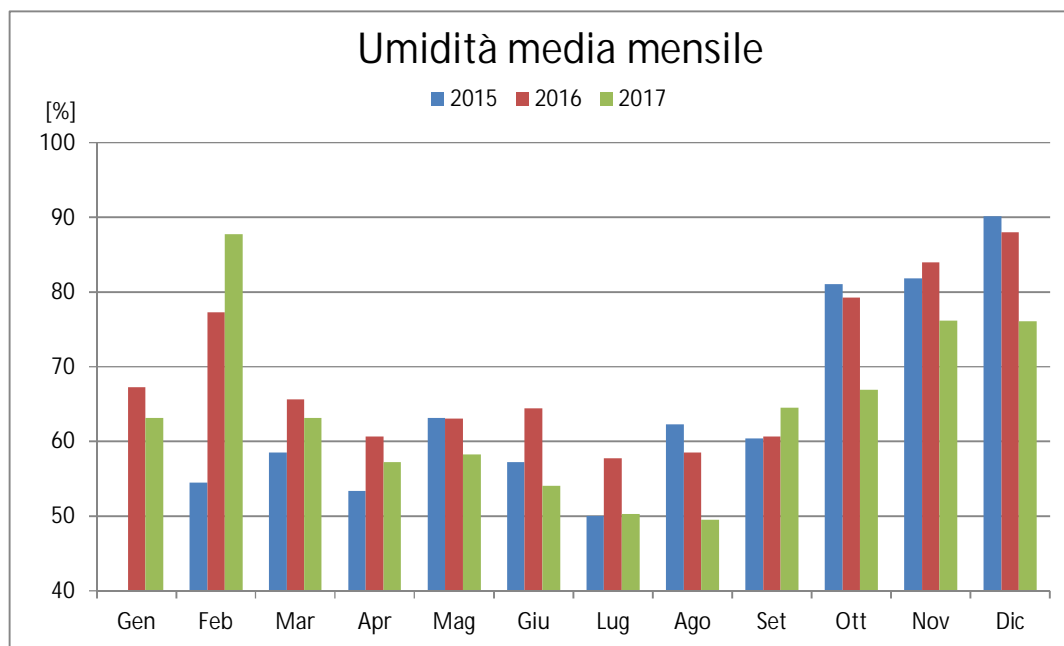


Figura 15: Umidità relativa media mensile per la stazione di Rho Prato

Per quanto concerne la precipitazione cumulata, i dati relativi alla stazione meteorologica di Rho mostrano che l'area è caratterizzata da precipitazioni variabili nel corso del triennio considerato, raggiungendo il massimo assoluto nel mese di Febbraio 2016 (Figura 16), mentre Novembre 2015 è risultato il mese meno piovoso.

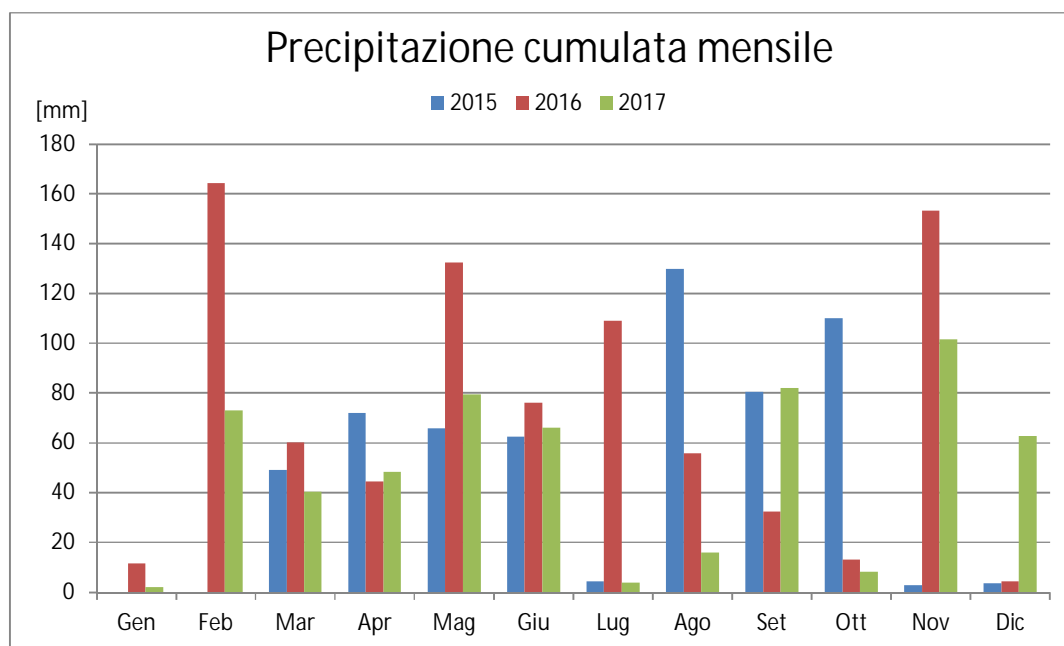


Figura 16: Precipitazione cumulata mensile per la stazione di Rho Prato

In Figura 17 si riporta l'andamento medio mensile della pressione monitorata presso la stazione di Milano V. Brera per il 2016 e 2017; il barometro è stato installato a Settembre 2016. Si osserva come i valori più elevati si registrino a Dicembre 2016.

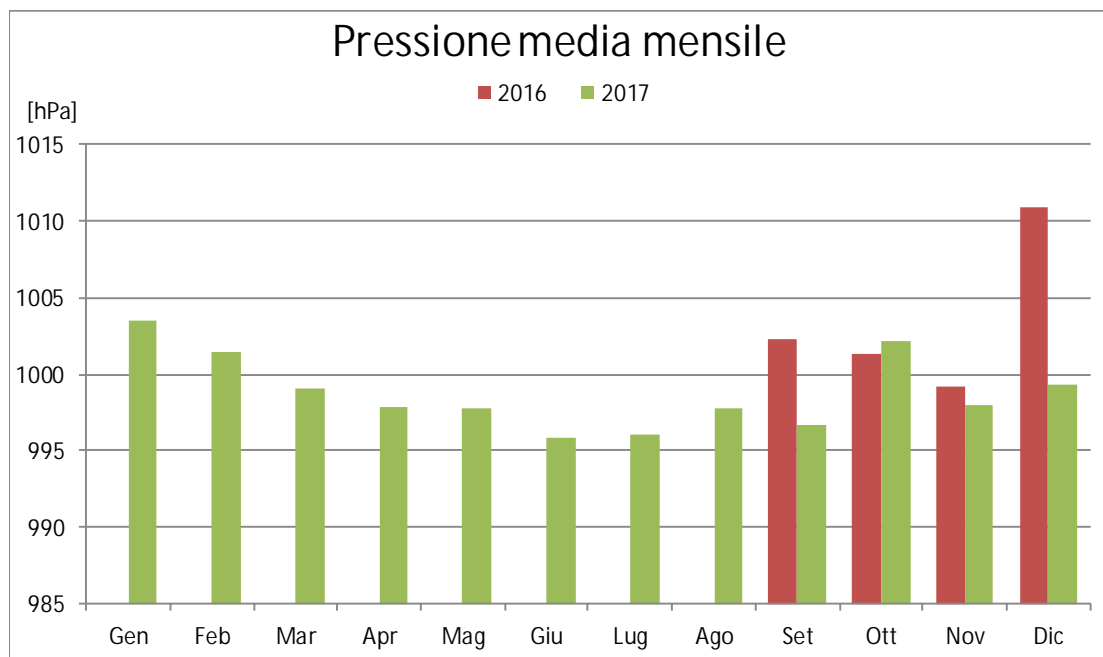


Figura 17: Pressione media mensile per la stazione di Milano V. Brera

Di seguito si riporta l'andamento della radiazione solare globale rilevato nel triennio 2015 - 2017 dalla stazione di Cinisello Balsamo. In Figura 18 si può osservare l'andamento a campana del giorno tipo annuale, con picchi nelle ore centrali della giornata, con valori superiori a 500 W/m² e il massimo è raggiunto nell'anno 2017.

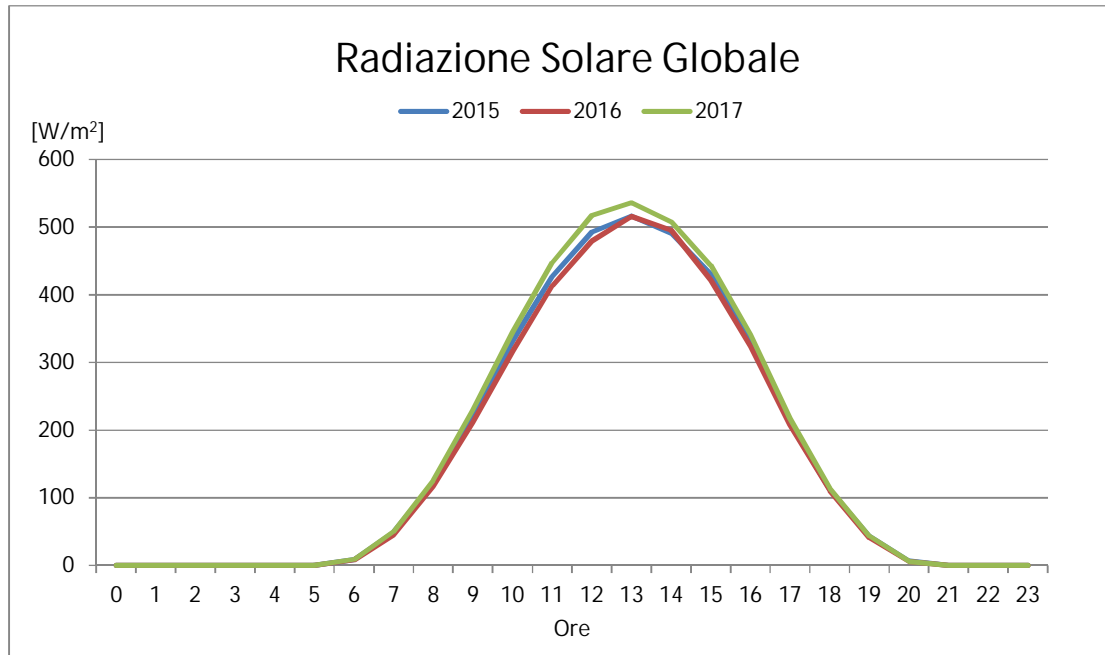


Figura 18: Radiazione solare globale media per la stazione di Cinisello Balsamo

A partire dalle precedenti analisi, gli anni 2015 - 2017 risultano essere in linea tra loro e pertanto è stato utilizzato il 2017 come anno meteorologico per effettuare le simulazioni modellistiche, essendo l'anno caratterizzato dalle completezze più elevate. In particolare sono state impiegate le 2 centraline di Rho (Rho Tetto e Rho Prato) e la centralina di Milano V. Brera (per la pressione).

A conferma della rappresentatività delle centraline di Rho si riporta di seguito il confronto con la centralina di Milano Zavattari.

Le temperature medie, massime e minime risultano essere in linea.

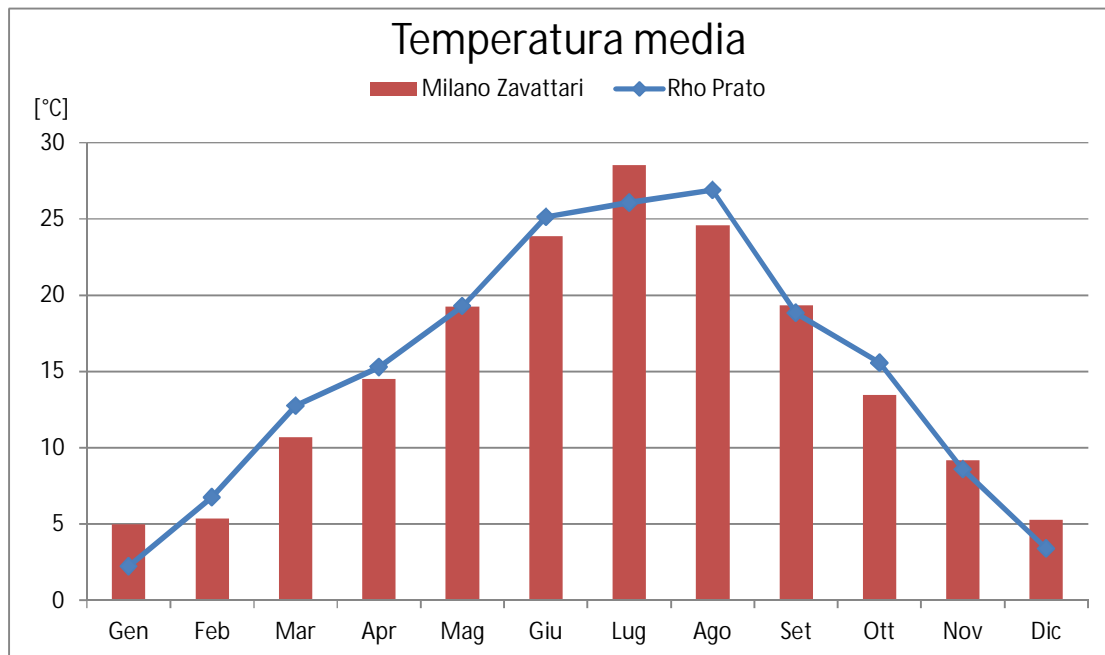


Figura 19: Confronto tra le temperature medie mensili per le stazioni di Milano Zavattari e Rho Prato, anno 2017

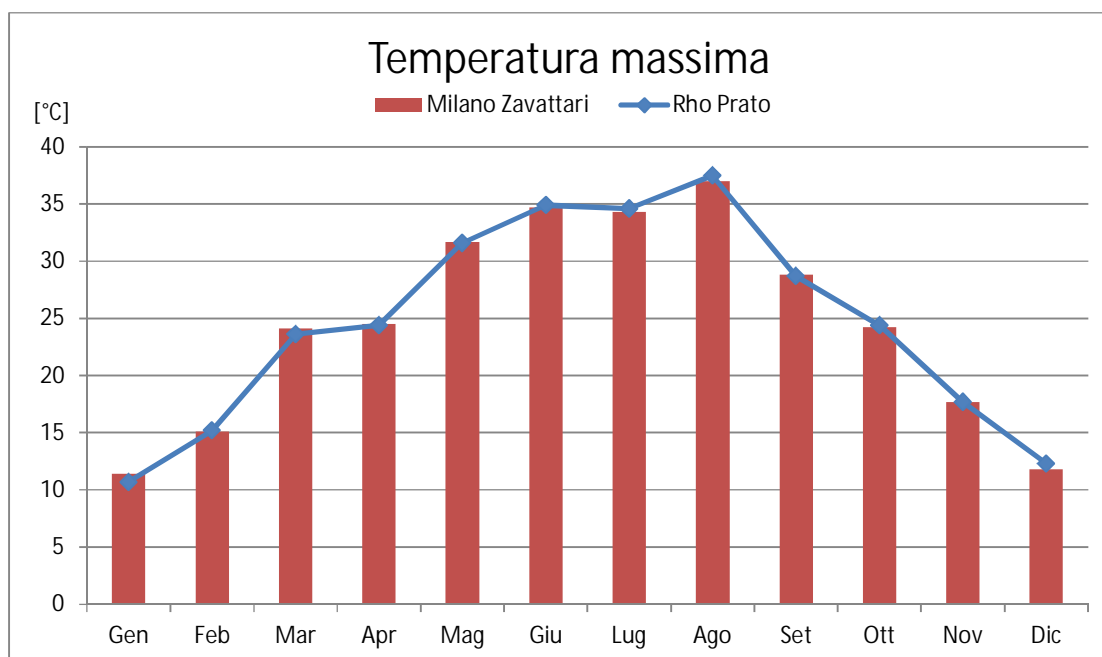


Figura 20: Confronto tra le temperature massime mensili per le stazioni di Milano Zavattari e Rho Prato, anno 2017

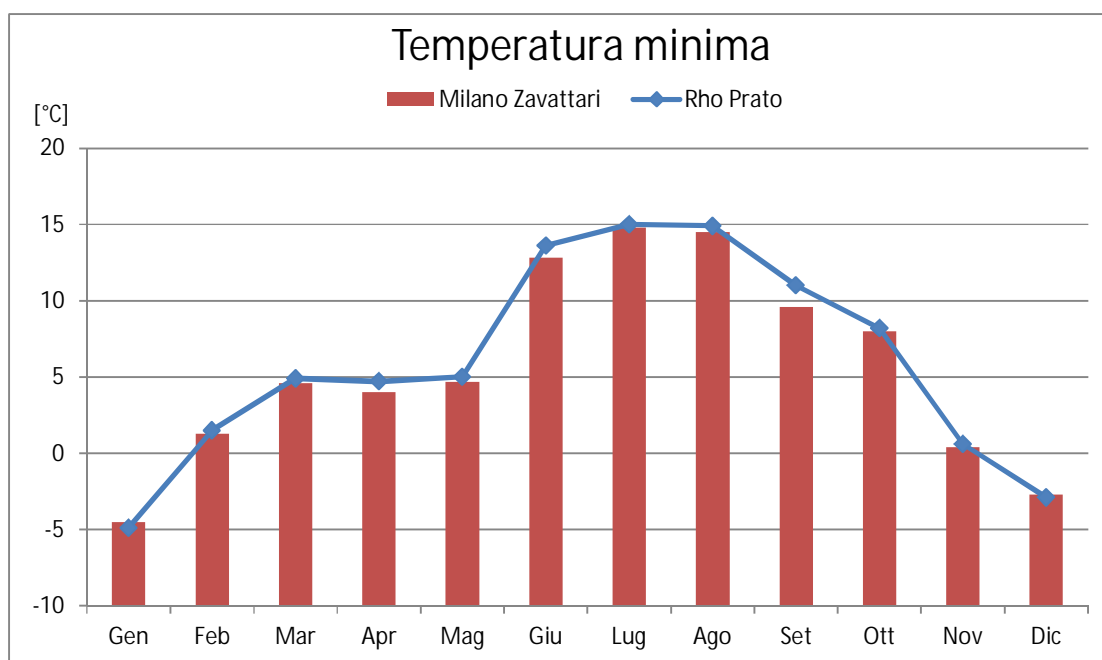


Figura 21: Confronto tra le temperature minime mensili per le stazioni di Milano Zavattari e Rho Prato, anno 2017

Per quanto riguarda la precipitazione cumulata mensile non si registrano variazioni significative, ad eccezione dei mesi di Aprile e Settembre in cui a Milano Zavattari vengono monitorati circa 35 mm di pioggia in più.

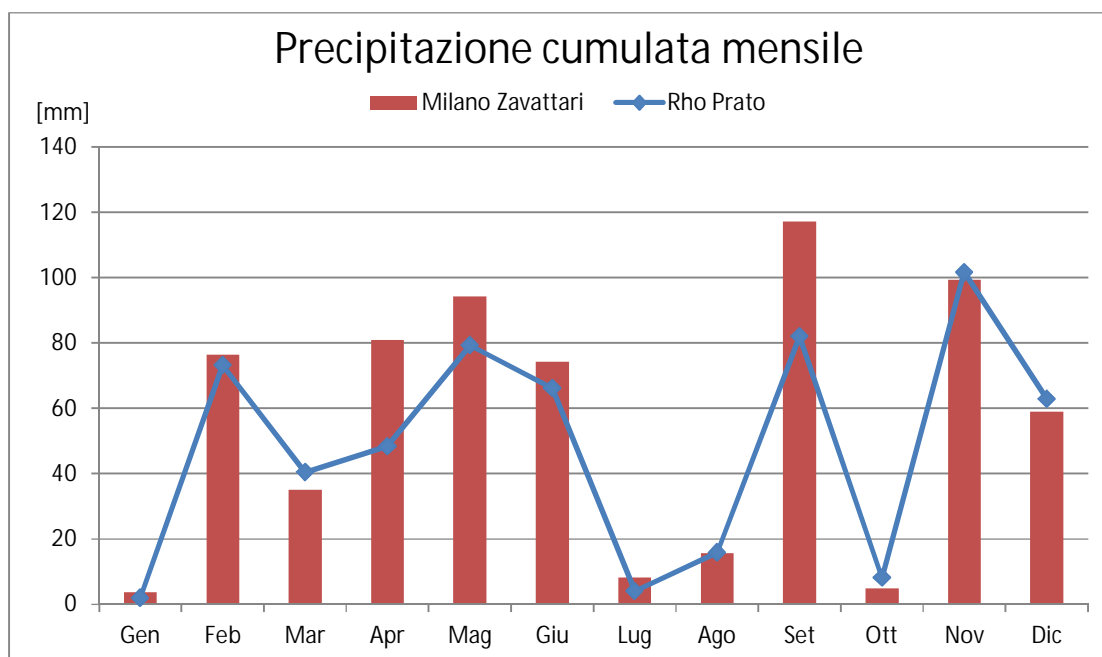


Figura 22: Confronto tra le precipitazioni cumulate mensili per le stazioni di Milano Zavattari e Rho Prato, anno 2017

Infine l'umidità media mensile risulta essere quasi coincidente.

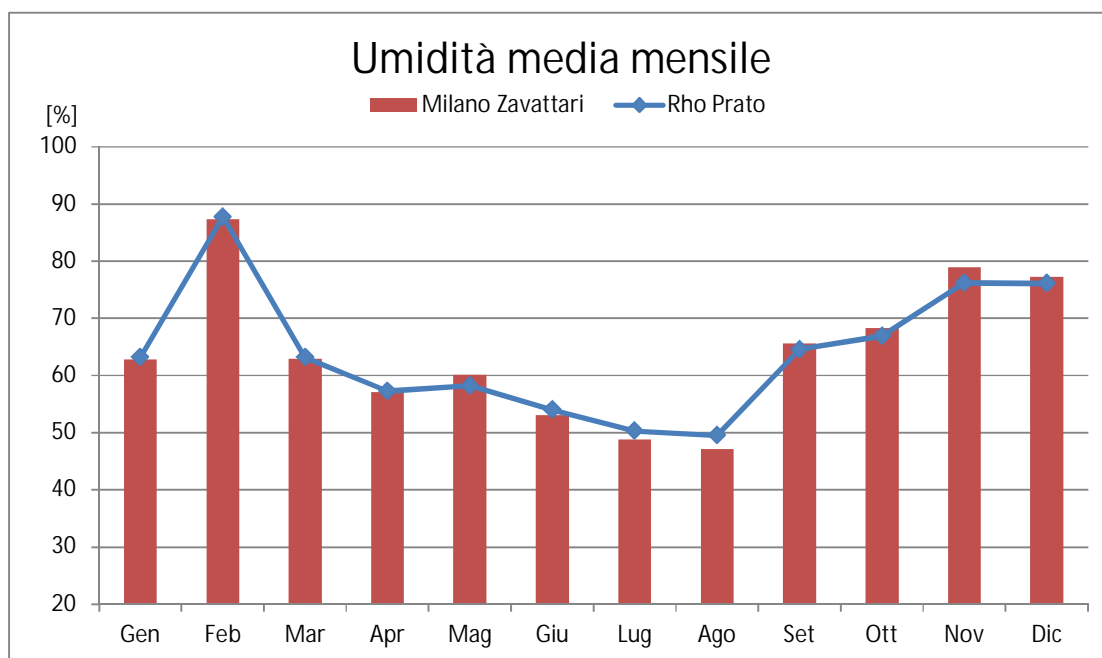


Figura 23: Confronto tra l'umidità media mensili per le stazioni di Milano Zavattari e Rho Prato, anno 2017

Segue l'analisi delle condizioni anemologiche riscontrate a Milano Zavattari, nel triennio 2015 - 2017: si notano delle differenze rispetto a Rho, dovute probabilmente alla localizzazione cittadina della centralina, ma, ad ogni modo viene, conferma la rappresentatività dell'anno 2017 come anno di simulazione.

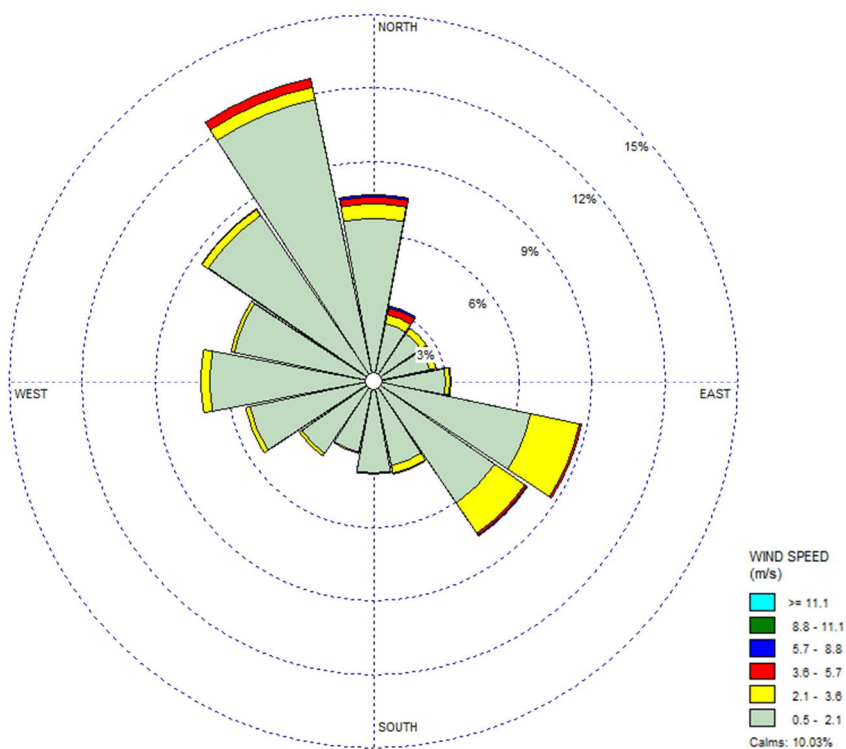


Figura 24: Rosa dei venti per l'anno 2015 relativa alla stazione di Milano Zavattari

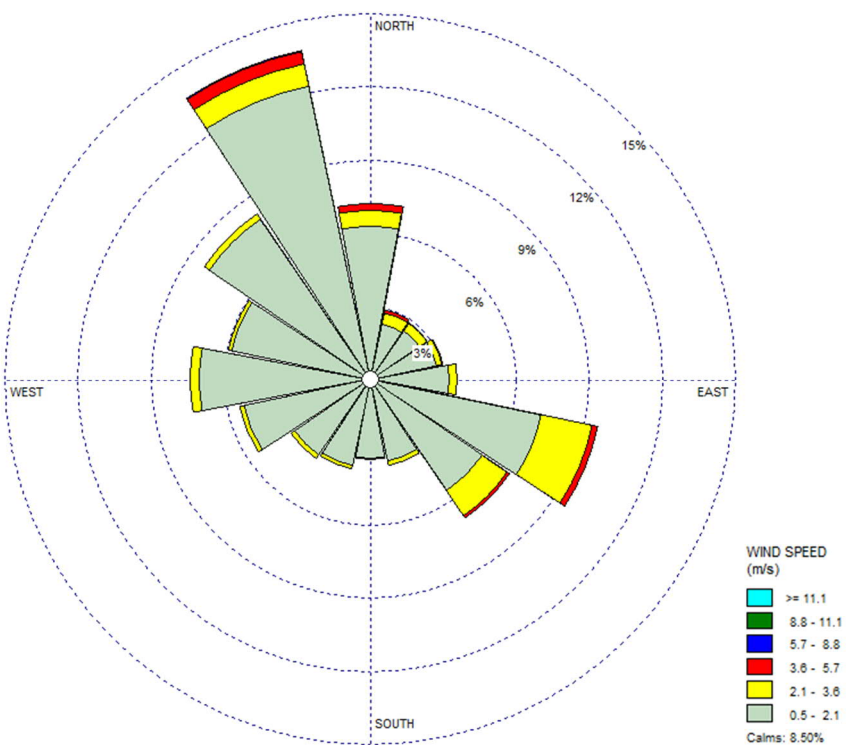


Figura 25: Rosa dei venti per l'anno 2016 relativa alla stazione di Milano Zavattari

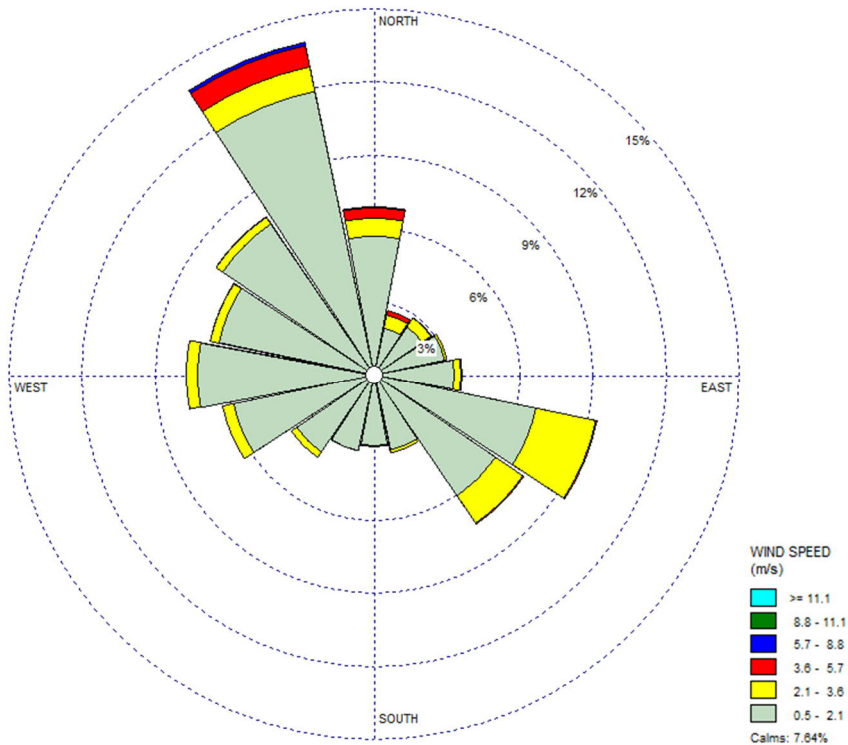


Figura 26: Rosa dei venti per l'anno 2017 relativa alla stazione di Milano Zavattari

Dall'analisi delle figure seguenti, si evince un campo anemologico coerente in termini di direzione e velocità del vento per il triennio considerato: la direzione del vento principale risulta essere Nord-Nord-Ovest e secondariamente Est-Sud-Est.

Nella figura successiva è riportata la frequenza delle classi di velocità del vento registrata presso la centralina di Milano Zavattari per il triennio considerato; come si può notare, la velocità preponderante è quella relativa a brezze leggere con valori compresi tra 0,5 e 2,1 m/s, coerentemente a quanto osservato per la centralina di Rho Tetto.

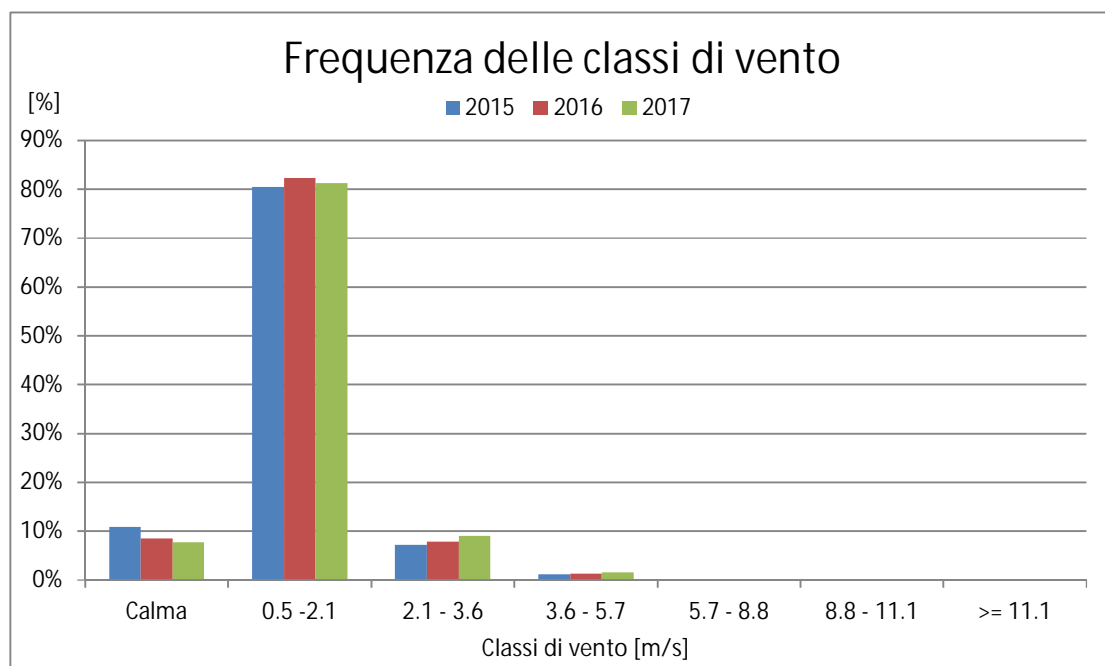


Figura 27: Frequenza delle classi di direzione del vento rilevate presso la centralina di Milano Zavattari

6. SIMULAZIONI MODELLISTICHE

6.1. Schema modellistico adottato

L'obiettivo di identificare e quantificare gli effetti sulla qualità dell'aria delle emissioni legate alla realizzazione del progetto MIND, è stato raggiunto mediante l'applicazione della catena modellistica WRF-CALMET-CALPUFF, dove WRF e CALMET sono i modelli meteorologici e CALPUFF è il modello per il calcolo delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera.

In Figura 28 si riporta uno schema di flusso della catena modellistica utilizzata, comprensiva dei principali pre-processor e post-processor impiegati.

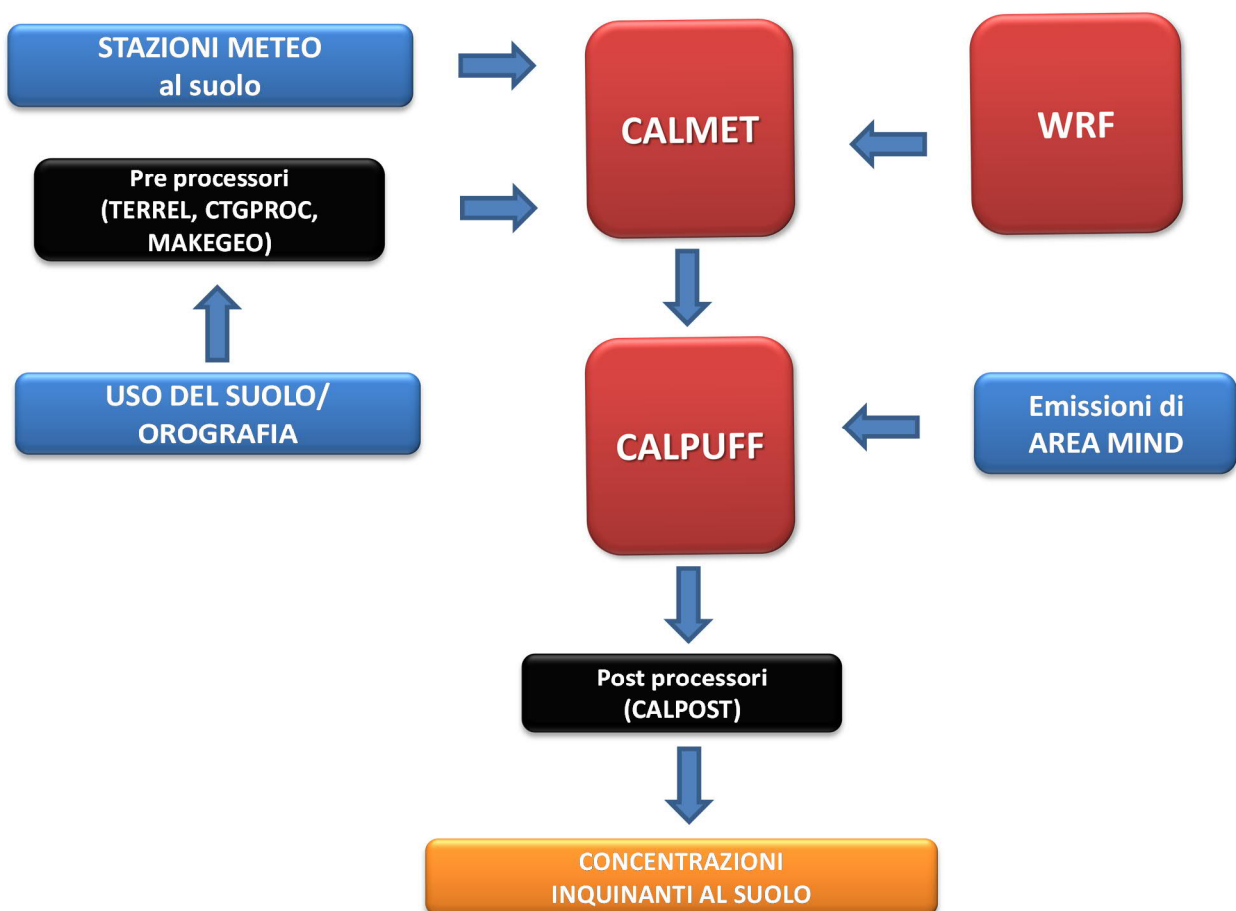


Figura 28: Schema modellistico utilizzato

WRF è un modello prognostico state-of-the-art tra i più avanzati a livello di ricerca scientifica, CALMET è un modello diagnostico state-of-the-art tra i più utilizzati ed infine CALPUFF è il modello suggerito da numerose agenzie nazionali per l'ambiente, come ISPRA italiana e EPA americana, per studi di valutazione di impatto ambientale in situazioni complesse. Tutti i modelli proposti sono aperti, pubblici e ampiamente referenziati a livello di pubblicazioni internazionali.

Si evidenzia inoltre che il rapporto "Linee guida per la scelta e l'uso dei modelli" redatto dal Centro Tematico Nazionale Atmosfera Clima ed Emissioni in aria (CTN-ACE) nel 2004 indica il modello CALPUFF tra i modelli adeguati per applicazioni in aree urbane ed a scala locale.

6.1.1. Il modello Weather Research and Forecasting (WRF)

Come illustrato in Figura 28, per caratterizzare la situazione meteorologica in quota, sono state integrate le informazioni al suolo delle centraline di monitoraggio con i dati estrapolati da un run effettuato con il modello WRF, relativo alla nostra area di interesse.

Il modello WRF (Weather Research and Forecasting) è un sistema di previsioni meteorologiche numeriche su mesoscala di nuova generazione, progettato per soddisfare ricerche operative sia meteorologiche che atmosferiche.

Lo sviluppo di WRF è stato il risultato di una collaborazione principalmente tra il National Center for Atmospheric Research (NCAR), il National Oceanic and Atmospheric Administration, il Forecast System Laboratory (FSL), la Air Force Weather Agency (AFWA), il Naval Research Laboratory, la University of Oklahoma e la Federal Aviation Administration (FAA). WRF offre ai ricercatori la possibilità di condurre simulazioni che riflettano sia dati reali che configurazioni ideali. WRF fornisce alle previsioni operative un modello flessibile ed efficiente dal punto di vista computazionale, oltre ai progressi nel campo della fisica, dei metodi numerici e dell'assimilazione dati a cui ha contribuito la comunità dei ricercatori¹.

In Figura 29 è rappresentato un diagramma schematico che mostra l'ordine dei modelli ed il flusso dei dati utilizzati per il funzionamento del modello WRF.

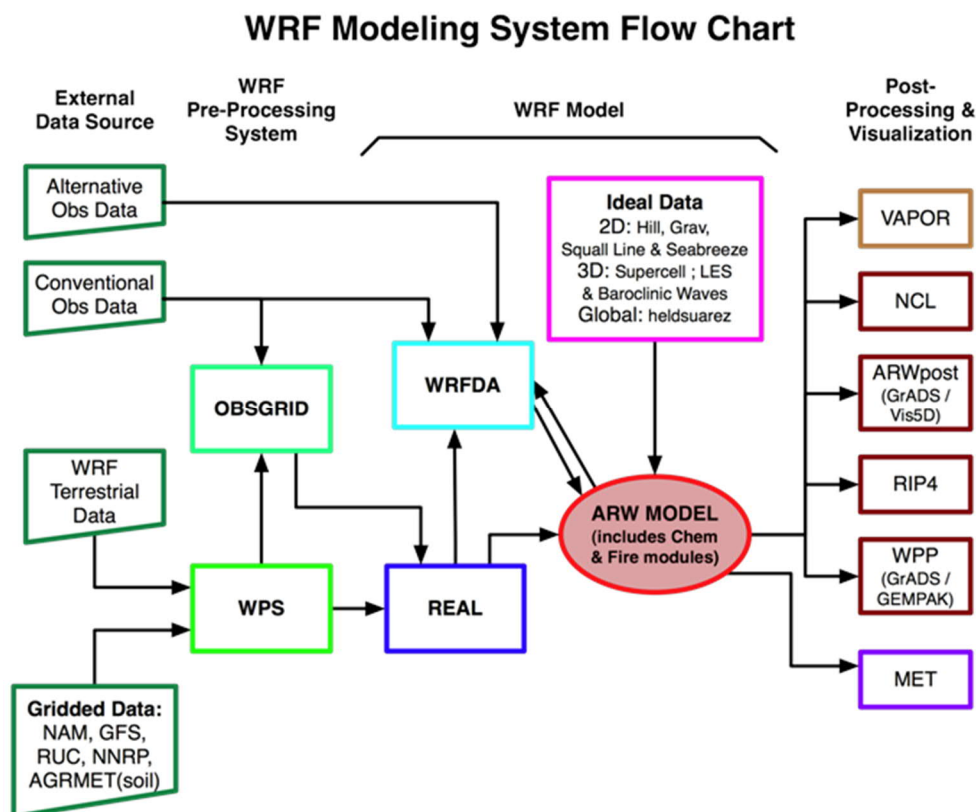


Figura 29: Schema modellistico relativa al modello WRF

- o WPS (WRF Pre-Processing System): è un insieme di tre codici utile a preparare gli input meteorologici.
 - Geogrid, definisce il dominio di calcolo e interpola i dati geografici e di uso del suolo sulla griglia di calcolo.

¹ Per maggiori informazioni sul modello WRF consultare il sito: www.wrf-model.org

- Ungrib, estrae i campi meteorologici dalle analisi meteorologiche di modelli a livello globale quali GFS o ECMWF.
- Metgrid, interpola orizzontalmente i campi di analisi estratti da ungrib, sulla griglia di calcolo definita da geogrid.
- o OBSGRID e WRFDA integrano i dati osservati delle stazioni al suolo e dei radiosondaggi all'interno delle simulazioni.
- o REAL legge i campi di input e li interpola lungo la struttura verticale di WRF, creando le condizioni iniziali e al contorno tridimensionali della griglia di calcolo.
- o WRF-ARW: è il cuore del sistema modellistico. Simula i campi meteorologici in accordo con le parametrizzazioni chimiche e fisiche selezionate dall'utente.
- o Le simulazioni WRF sono state utilizzate per ricreare i parametri meteorologici tridimensionali in ingresso a CALMET (e precisamente il file 3D.DAT).

Il dominio di calcolo utilizzato per WRF è un quadrato di lato 60 km, con risoluzione di 4 km, centrato sull'area di interesse.

6.1.2. Il modello CALMET

CALMET è un modello meteorologico diagnostico a griglia che comprende un generatore di un campo di temperatura e velocità del vento tridimensionali, e di campi bidimensionali dei parametri micrometeorologici valutati in ogni punto del grigliato scelto quali la lunghezza di Monin-Obukhov, l'altezza di rimescolamento e la velocità di attrito.

Il sistema a griglia usato consiste di N_z strati verticali di $(N_x \times N_y)$ celle quadrate orizzontali. In totale il sistema lavora quindi su $N_x \times N_y \times N_z$ volumi d'aria. Il modello opera in un sistema di coordinate in cui la coordinata verticale è l'altezza cartesiana calcolata rispetto all'orografia (sistema di coordinate "terrain following").

Il modello CALMET essendo fondamentalmente un interpolatore attraverso la cosiddetta "objective analysis" necessita in primo luogo delle informazioni meteorologiche al suolo ricostruite a partire dai parametri misurati dalle stazioni meteorologiche o dal modello prognostico, utilizzate dal modello per la ricostruzione dei campi tridimensionali di vento e temperatura; secondariamente il modello CALMET necessita di una serie di informazioni sulla variabilità verticale dei dati meteorologici, in particolare: pressione, direzione del vento, velocità del vento e temperatura in funzione della quota. Queste informazioni possono essere recuperate dai dati di output di un modello prognostico ed in generale dalle misure meteorologiche in quota della più vicina stazione che effettui almeno due radiosondaggi giornalieri.

Il modello CALMET prevede tre modalità per integrare le informazioni del modello prognostico:

- o come guess field iniziale;
- o come campo di vento di step 1;
- o come osservazione – come se fossero i dati di una stazione reale.

Per la definizione del campo di vento iniziale (step 1) sono stati considerati i dati provenienti dal modello prognostico (WRF) unitamente all'orografia, minimizzandone la divergenza. Successivamente, per calcolare il campo di vento finale (step 2) si sono utilizzati i valori osservati presso le centraline meteorologiche al suolo.

Il modello CALMET necessita in input le seguenti informazioni meteorologiche.

- o Parametri meteorologici misurati in stazioni a terra;
- o Parametri meteorologici tridimensionali sul dominio (WRF).

Inoltre richiede le seguenti informazioni legate alla morfologia del suolo:

- o Uso del suolo e parametri ad esso legati (albedo, roughness, Bowen ratio ...);
- o Orografia.

Il dominio di calcolo di CALMET (Figura 30) è un quadrato di lato 8 km, con risoluzione di 200 m.

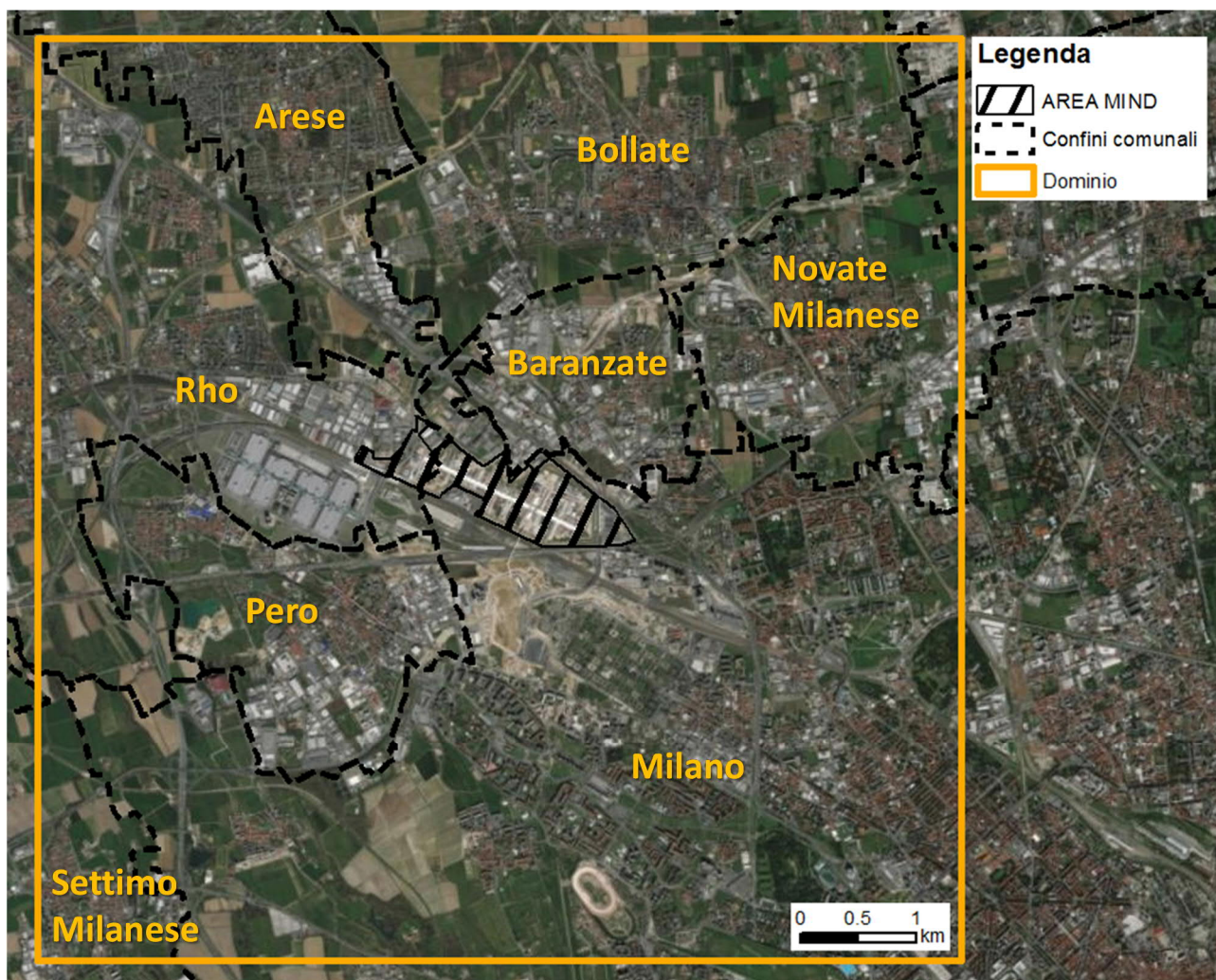


Figura 30: Dominio di simulazione di CALMET e CALPUFF

Uso di suolo e orografia

Per quanto concerne l'uso del suolo, si sono utilizzati i dati provenienti da "Eurasia Land Cover Characteristics Data Base Version 2.0" prodotto dall'USGS.

La risoluzione di tale database è di 1 km; l'uso del suolo viene classificato in base a 14 categorie elencate nella seguente tabella.

Tabella 23: Sistema di classificazione del 'U.S. Geological Survey' delle categorie uso del suolo

Land Use Type	Description	Surface Roughness [m]	Albedo	Bowen Ratio	Soil Heat Flux Parameter	Anthropogenic Heat Flux [W/m ²]	Leaf Area Index
10	Urban or Built-up Land	1	0,18	1,5	0,25	0	0,2
20	Agricultural Land - Unirrigated	0,25	0,15	1	0,15	0	3
-20	Agricultural Land - Irrigated	0,25	0,15	0,5	0,15	0	3
30	Rangeland	0,05	0,25	1	0,15	0	0,5
40	Forest Land	1	0,1	1	0,15	0	7
50	Water	0,001	0,1	0	1	0	0
51	Small Water Body	0,001	0,1	0	1	0	0
55	Large Water Body	0,001	0,1	0	1	0	0
60	Wetland	1	0,1	0,5	0,25	0	2
61	Forested Wetland	1	0,1	0,5	0,25	0	2
62	Nonforested Wetland	0,2	0,1	0,1	0,25	0	1
70	Barren Land	0,05	0,3	1	0,15	0	0,05
80	Tundra	0,2	0,3	0,5	0,15	0	0
90	Perennial Snow or Ice	0,05	0,7	0,5	0,15	0	0

Il dominio considerato è caratterizzato da aree urbanizzate, insediamenti produttivi e terreni agricoli, come si evince dalla figura successiva in cui si riporta l'uso di suolo derivante dalla banca dati di regione Lombardia DUSAF 2015 (Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali), con dettaglio al II livello.

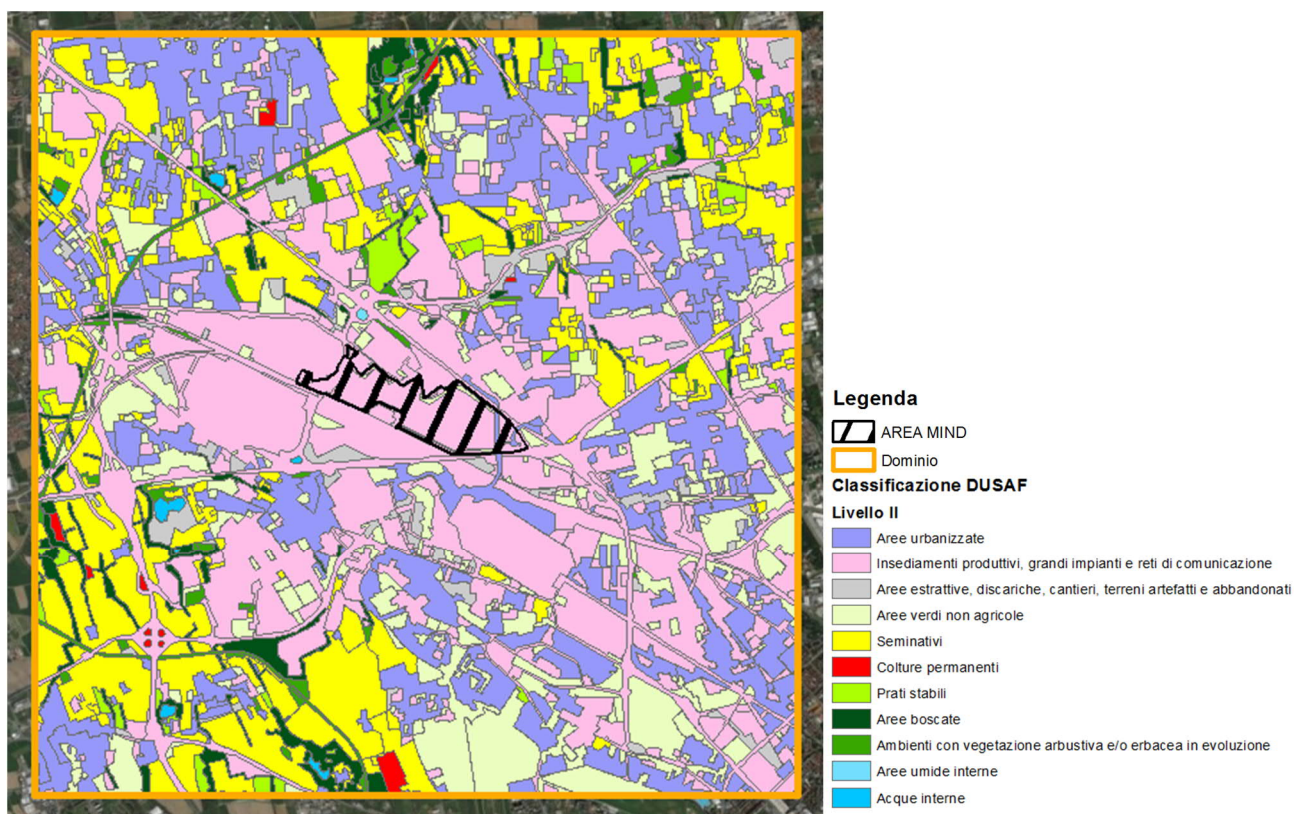


Figura 31: Uso di suolo del dominio di CALMET (fonte: DUSAF 2015)

L'orografia del dominio è stata ricavata a partire dal dataset SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission 3 arc-sec, ~90 m). Tale dataset è il risultato degli sforzi congiunti fra la NASA, l'NGA, ovvero National Geospatial-Intelligence Agency - conosciuto una volta come National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e la collaborazione delle agenzie spaziali di Germania e Italia per generare un DEM (Digital Elevation Model) a scala quasi mondiale sfruttando l'interferometria dei radar.

I dati SRTM sono organizzati in formato raster. La spaziatura per ogni singolo dato è pari 3 archi-secondo, pari a 90 metri.

L'accesso ai dati avviene tramite il sito web dell'USGS (U.S. Geological Survey). I DEM così scaricati vengono forniti in formato raster binario (.hgt) rappresentabile tramite la conversione in file .bil ma non immediatamente disponibili sotto forma di valori numerici delle quote. I dati sono espressi in metri con riferimento al geoide WGS84/EGM96.

Per passare dal formato .hgt agli effettivi valori numerici di quota per ogni cella del dominio è stato utilizzato TERREL, un preprocessore di CALPUFF che riceve in ingresso i file .hgt necessari a coprire l'aria di interesse e le informazioni sulla griglia del dominio e restituisce un unico file contenente la quota per ogni cella della griglia del dominio.

Il dominio di calcolo di CALMET comprende aree tendenzialmente pianeggianti, come si evince da Figura 32; la quota sul livello del mare dell'area oggetto dello studio è di circa 140 m.

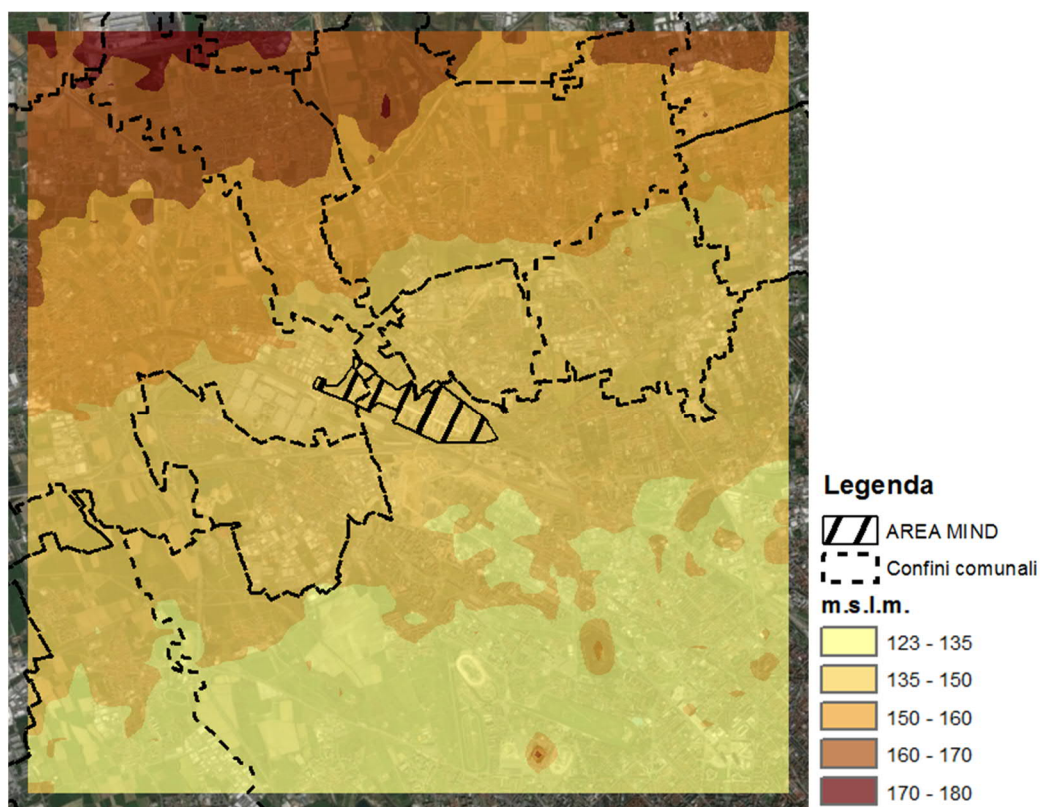


Figura 32: Orografia del dominio di calcolo di CALMET

Rose dei venti ricostruite con CALMET

In Figura 33 è riportata la rosa stimata dal modello CALMET in corrispondenza dell'AREA MIND alla quota di 10 m, che mostra un campo anemologico in linea con quello rilevato dalla centralina di Rho.

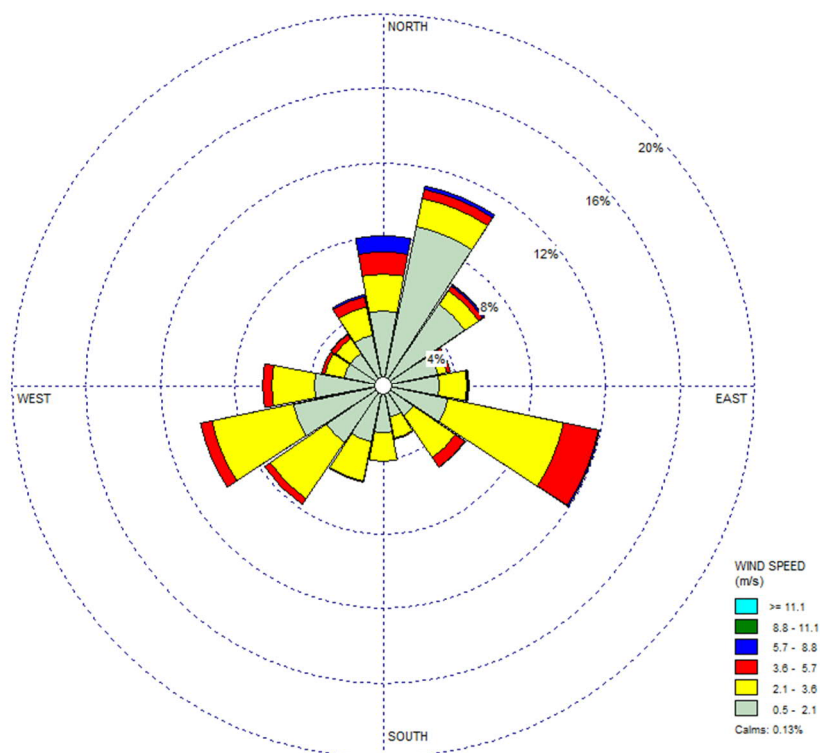


Figura 33: Rosa dei venti stimata da CALMET in corrispondenza dell' AREA MIND alla quota di 10 m

6.1.3. Il modello di simulazione CALPUFF

CALPUFF è un modello lagrangiano, non stazionario a puff gaussiano, multistrato e multi-inquinante. È consigliato dall'U.S. EPA (Environmental Protection Agency) per la stima dell'impatto di sorgenti emissive a scala locale con condizioni meteorologiche complesse.

CALPUFF PUFF-SPLITTING

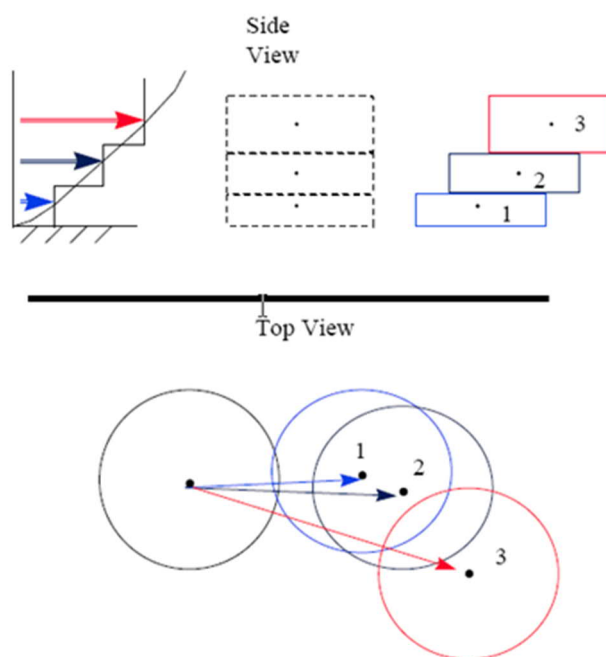


Figura 34: Schema di funzionamento del modello CALPUFF

Le caratteristiche di maggior interesse del modello sono:

- o la trattazione modellistica delle condizioni di calma di vento;
- o la capacità di simulare condizioni di flussi non omogenei (orografia complessa, inversione termica, fumigazione, brezza, ...);
- o la possibilità di utilizzare un campo tridimensionale di vento e temperatura ed un campo bidimensionale di parametri di turbolenza (altezza dello strato di rimescolamento, caratteristiche di stabilità atmosferica, ...);
- o l'utilizzo di coefficienti di dispersione dalle curve di Pasquill e McElroy o calcolati applicando la teoria della similarità;
- o il calcolo dell'effetto scia (down wash) generato dagli edifici prossimi alle sorgenti.

Le tipologie di emissioni previste dal modello CALPUFF, a cui è possibile associare eventualmente anche un profilo temporale orario, sono le seguenti:

- o Emissioni puntuali: l'emissione avviene da un unico punto georeferenziato avente caratteristiche fisiche e geometriche definite - utilizzate in questo studio;
- o Emissioni areali: l'emissione avviene da un'area del dominio di interesse - non utilizzate in questo studio;
- o Emissioni volumetriche: l'emissione avviene all'interno di un volume avente caratteristiche e parametri di dispersione specifici - utilizzate in questo studio.

La trattazione matematica del modello è piuttosto complessa e si rinvia al manuale tecnico di CALPUFF per ulteriori approfondimenti.

6.2. Dominio di simulazione e recettori

Il dominio di calcolo utilizzato per CALPUFF è un quadrato di lato 8 km che comprende l'area interessata da trasformazione viabilistica per il progetto MIND (Figura 30). Le concentrazioni relative alla fase di cantiere sono state stimate utilizzando una griglia regolare avente risoluzione pari a 200 m, mentre per valutare al meglio l'impatto del traffico, oltre alla griglia, sono stati considerati anche dei recettori discreti posizionati parallelamente alle strade. I recettori sono i punti del territorio, definiti attraverso le loro coordinate geografiche, nei quali il modello stima la concentrazione di tutti gli inquinanti analizzati. Sono stati inseriti circa 3'520 recettori posizionati sia lungo gli archi stradali, alla distanza trasversale dal ciglio strada pari a 10 m, che in corrispondenza di una griglia avente passo 100 m. Tutti i recettori sono stati posizionati a 2 metri di altezza.

Inoltre nell'intorno di 3 km dal sito in esame sono stati identificati i recettori sensibili presenti, indicati in Tabella 24 e in Figura 35, includendo scuole, ospedali, case di riposo, nonché le abitazioni più prossime all'area.

Tabella 24: Recettori sensibili più prossimi al progetto MIND

Id	Descrizione	Indirizzo
1	Abitazione	Via Tonale, 20021, Baranzate, Mi
2	Pulcini & Co.	Via Venezia Giulia, 2, 20157 Milano, Mi
3	Abitazione	Via Monte Bisbino, 20021, Baranzate, Mi
4	Abitazione	Autostrada del Laghi
5	Abitazione	Via Monte Spluga, 20021, Baranzate, Mi
6	Abitazione	Via Gorizia, 20021, Milano, Mi
7	Ospedale Sacco	Via G. B. Grassi, 74, 20157, Milano, MI
8	Nido Famiglia L'impronta	Via Aquileia, 62, 20021 Baranzate, Mi
9	Istituto Comprensivo "Gianni Rodari"	Via Aquileia, 1, 20021 Baranzate, Mi
10	Abitazione	Via Palmanova, 20021, Baranzate, Mi
11	Abitazione	Via Cogne, 20157, Milano, Mi
12	International School of Europe	Via I Maggio, 20, 20021, Baranzate MI
13	Abitazione	Via degli Orti, 20016, Pero MI
14	Scuola Primaria "Gianni Rodari"	Via Mentana, 1, 20021 Baranzate MI
15	Università degli Studi di Milano - Polo Vialba	Via G. B. Grassi, 74, 20157, Milano MI
16	Scuola paritaria Pastor Angelicus	Via P. F. Cittadini, 5, 20157, Milano MI
17	Istituto Geriatrico Milanese Spa	Via Arsia, 7, 20157, Milano MI
18	Scuola Materna Sacro Cuore	Via Conciliazione, 2, 20021, Baranzate, Mi
19	Abitazione	Via G. Savonarola, 20016, Pero, Mi
20	Abitazione	Via A. Zoagli, 20157, Milano, Mi
21	Abitazione	Via G. Amendola, 20017, Rho, Mi
22	Asilo Nido Comunale	Via Cogne, 24, 20157, Milano, Mi
23	Abitazione	Via G. Gioberti, 20016, Pero, Mi
24	Istituto Secondaria Superiore Paolo Frisi	Via Otranto, 1, 20157, Milano MI
25	Abitazione	Strada Statale 33, 207, 20016, Pero MI
26	Abitazione	Via A. Mambretti, 20157, Milano, Mi
27	Abitazione	Via Appennini, 20151, Milano, Mi
28	Scuola Secondaria di 1° grado "Dante Alighieri"	Via Papa Giovanni XXIII, 6, 20016, Pero MI
29	Scuola Media Statale Giambattista Vico	Via F. Orsini, 25, 20157 Milano MI
30	Scuola Statale Dell'Infanzia Nazario Sauro	Via S. D'Acquisto, 1, 20021 Baranzate MI
31	Abitazione	Via A. Consolini, 20151, Milano, Mi
32	Istituto Comprensivo Borsi - scuola dell'infanzia	Via Appennini, 189, 20151 Milano MI
33	Abitazione	Via Luino, 20021, Bollate, Mi
34	Abitazione	Viale Certosa, 20151, Milano, Mi
35	Scuola Primaria "Gianni Rodari"	Via G. Sartirana, 3, 20017, Rho MI
36	Scuola dell'Infanzia "Carlo Collodi"	Via P. Togliatti, 8, 20017, Rho MI
37	Scuola Media Statale Emilio Alessandrini	Via Sapri, 50, 20156, Milano MI
38	Scuola Elementare Statale di Via Pareto	Via V. Pareto, 26, 20156, Milano MI
39	Scuola dell'Infanzia Paritaria "Santa Monica"	Via Fornace Mariani, 10, 20021, Bollate, MI
40	Abitazione	Via Castellanza, 20151, Milano, Mi
41	Happy Child	Via Garegnano, 44, 20156, Milano, Mi
42	Scuola Elementare Giovanna D'Arco	Via G. D'Arco, 5/7, 20016, Pero MI
43	Scuola dell'infanzia dal Pozzo	Via N. Sauro, 22, 20017, Rho, Mi
44	Scuola Elementare Statale di Via Trilussa	Via privata Trilussa, 10, 20157 Milano MI
45	Abitazione	Via Montrasi, 20021, Bollate, Mi
46	Abitazione	Via Uruguay, 20151, Milano, Mi

Id	Descrizione	Indirizzo
47	Rsa Casa Di Riposo	Via Piave, 26, 20021, Bollate MI
48	Scuola Elementare Statale Don Lorenzo Milani	Via Baranzate, 8, 20026 ,Novate Milanese MI
49	Ospedale Ceduti Ballatesi	Via Piave, 20, 20021, Bollate, MI
50	Nido Scuola Dragonfly	Via G. Quarenghi, 26, 20151, Milano, MI
51	Istituto Comprensivo Giosuè Borsi	Via U. Ojetti,13, 20151, Milano MI

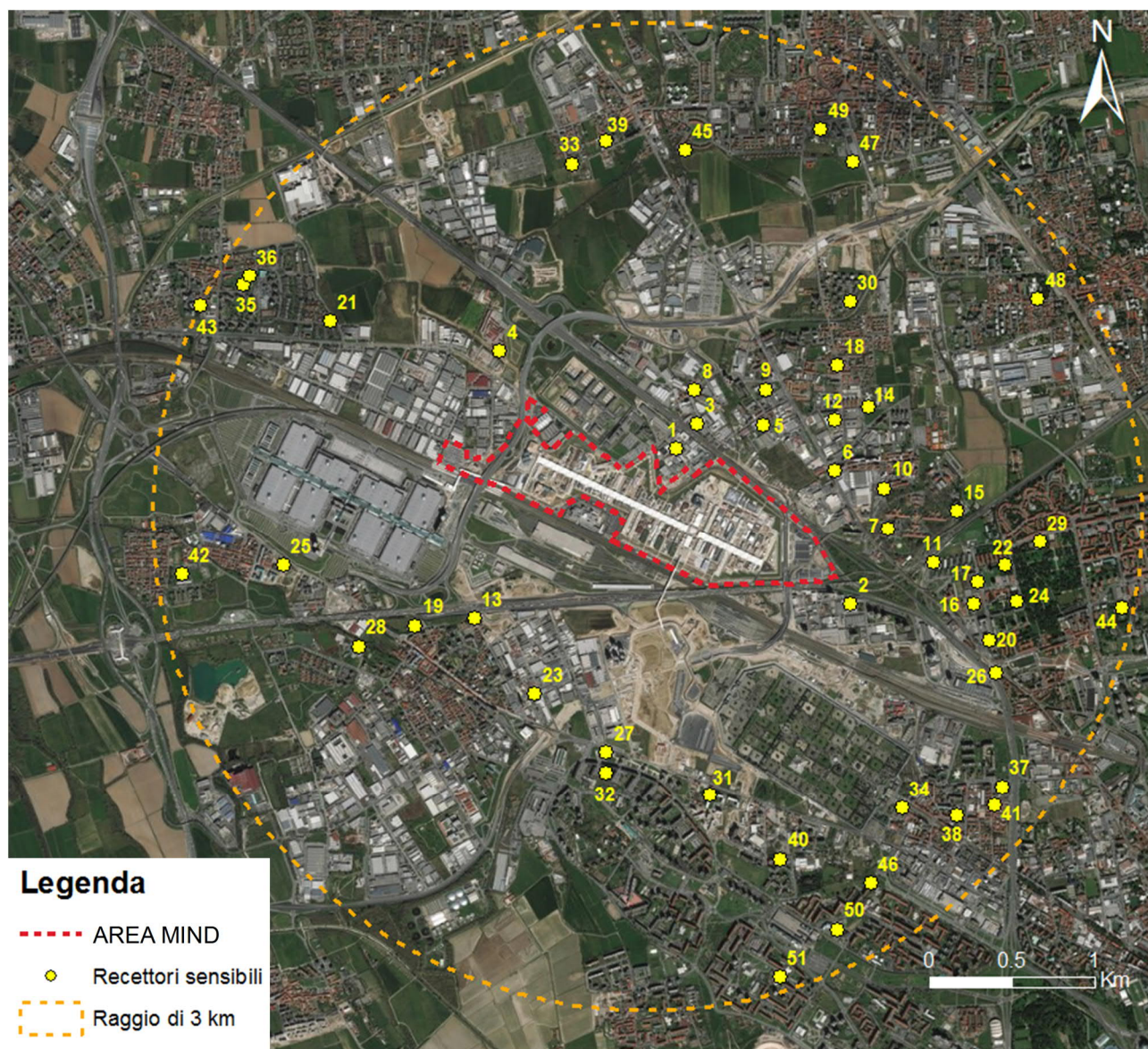


Figura 35: Localizzazione dei recettori sensibili

Nel presente studio sono stati analizzati, oltre alla fase di cantiere, 4 diversi scenari temporali: la situazione attuale (o Ante operam), 2 scenari intermedi (Intermedio 1 e Intermedio 2) e la situazione futura (o Post operam) nella quale si prevede che l'opera sarà conclusa.

La catena modellistica WRF-CALMET-CALPUFF è stata utilizzata per simulare 3 scenari:

- o Ante operam, situazione attuale;
- o Cantiere;
- o Post operam, a valle della realizzazione del progetto MIND.

Gli scenari intermedi non sono stati modellizzati in quanto dal punto di vista emissivo sono risultati meno impattanti rispetto allo scenario Post operam.

In merito alla fase di cantiere, sono stati valutati i principali impatti emissivi previsti, comprendendo le polveri derivanti da lavorazioni e movimentazioni dei materiali, stimate attraverso le Linee guida di ARPA Toscana e le linee guida dell'Agenzia Statunitense per l'Ambiente (EPA).

In merito alla fase di esercizio sono state analizzate sia le emissioni dirette, provenienti da sorgenti fisse (in particolare per la produzione di energia), sia le emissioni correlate al traffico indotto.

Gli inquinanti analizzati, perché tipici del traffico veicolare, sono: le polveri (in particolare il PM₁₀), gli ossidi di azoto (NO_x), il monossido di carbonio (CO) e i composti organici volatili (COV). A questi si aggiungono biossido di zolfo (SO₂) e ammoniaca (NH₃), emessi dalle sorgenti puntuali.

6.3. Scenari di traffico

In questa fase, non potendo prevedere con certezza la configurazione finale delle funzioni presenti sul sito MIND, sono stati ipotizzati diversi scenari alternativi, ognuno caratterizzato dalla predominanza di specifiche funzioni sulle altre (Residenziale, Terziario, Culturale/Infrastrutturale, Produttivo) con valutazione dei relativi fabbisogni. Per le verifiche di impatto sull'aria si è considerato come scenario di riferimento quello proposto per il PII, assumendolo a riferimento a seguito dei numerosi scenari alternativi analizzati e caratterizzati da un diverso rapporto tra le varie funzioni presenti sul sito pur mantenendo inalterata la somma totale prevista di slp (960.000).

Mediante un modello di traffico è stato quindi stimato il flussogramma in ingresso ed in uscita rispetto a tutte le strade che interessano l'area di progetto sia per lo scenario attuale che per quello di riferimento (post-operam) che per 2 scenari intermedi. Il modello ha restituito il numero di veicoli per tipologia nell'ora di punta del mattino (7:30 - 8:30) del giorno feriale negli scenari di traffico precedentemente descritti.

In ragione dei fattori di emissione forniti da INEMAR, le categorie di veicoli sono state accorpate nelle 3 macrocategorie:

- o Automobili,
- o Commerciali leggeri,
- o Veicoli pesanti;

e ciascuna strada è stata classificata come urbana, extraurbana o autostrada. La tipologia di strada è stata associata agli archi in esame utilizzando le informazioni disponibili sul geoportale regionale in formato vettoriale.

Si riporta il flussogramma dei veicoli totali per gli scenari Ante operam (Figura 36) e Post operam (Figura 37) nell'ora di punta del mattino (7:30 - 8:30) del giorno feriale. Nelle figure seguenti si riporta il grafo stradale considerato nelle simulazioni ed i comuni coinvolti, che sono oltre a Milano e Rho (nei quali il progetto MIND ricade) anche quelli di Pero, Arese, Bollate e Baranzate, tutti compresi nella Città Metropolitana di Milano.



Figura 36: Flussogramma per lo scenario Ante operam dalle 7:30 - 8:30 del giorno feriale



Figura 37: Flussogramma per lo scenario Post operam dalle 7:30 - 8:30 del giorno feriale

La Figura 38 rappresenta il traffico indotto dal progetto MIND nell'ora di punta (7:30 - 8:30) che è incrementato fino a 2'495 veicoli/ora lungo il perimetro dell'area oggetto di riqualificazione ma

che nella restante rete viaria risulta molto più limitato e talvolta anche lievemente migliorativo della situazione attuale.

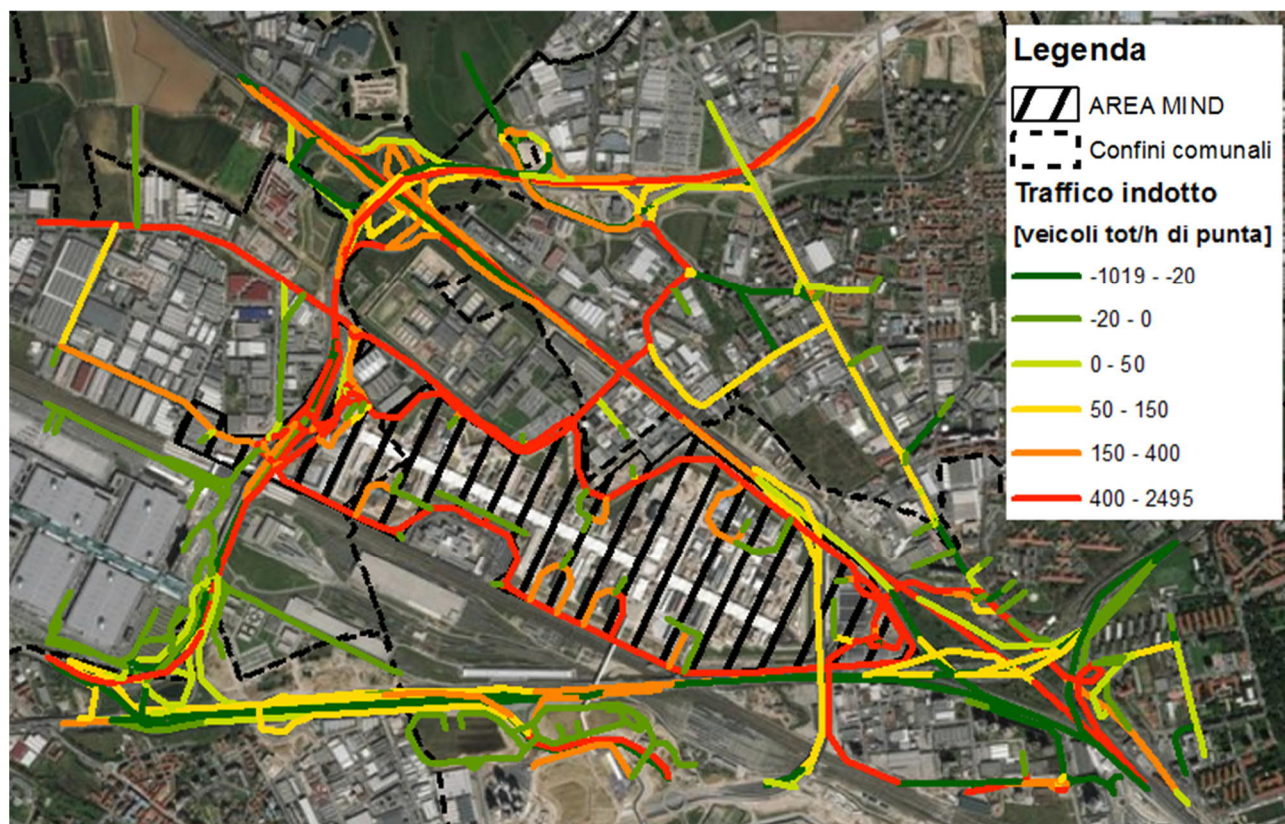


Figura 38: Traffico indotto dal progetto MIND nell'ora di punta del giorno feriale

Per stimare i flussi veicolari orari nelle 24 ore sono state utilizzate le misure contenute nello studio "Monitoraggio del traffico Ante operam e aggiornamento della piattaforma modellistica di verifica" redatto da Systematica, datato novembre 2012, e dall'Allegato "Studio modellistico di dispersione degli inquinanti in atmosfera" allo Studio di Impatto Ambientale (SIA) del Progetto definitivo piastra espositiva del 2012, oltre ai rilievi di traffico effettuati dal 22 al 29 Ottobre 2018, in corrispondenza di strade extraurbane: V. Alcide De Gasperi a Rho e di V. Milano a Baranzate, in entrambe le direzioni di percorrenza (si veda il Piano della Mobilità del Programma Integrato di Intervento Post Expo).

La modulazione del traffico all'interno del giorno è stata valutata per tipologia di strada. In particolare per le strade urbane si è utilizzato l'andamento medio ottenuto dai rilevamenti effettuati presso le sezioni 4 e 6 indicate nel documento sopracitato, in quanto prive di mezzi pesanti e caratterizzate da un limite di velocità pari o inferiore a 50 km/h. La distribuzione ottenuta è stata utilizzata per tutte le tipologie di veicoli transitanti in strade urbane.

Per le strade extraurbane è stato considerato l'andamento medio ottenuto dai 4 rilievi effettuati ad Ottobre 2018.

Per quanto riguarda le autostrade invece:

- o per i mezzi leggeri (automobili e commerciali leggeri) sono stati considerati i grafici riportati a pag. 108 della Parte 1 del SIA 2012;
- o per i mezzi pesanti è stata utilizzata la tabella riportata a pag. 34 dell'allegato al SIA 2012.

Si riporta di seguito la modulazione del flusso orario di veicoli in termini di incremento/decremento rispetto al flusso dell'ora di punta per le automobili (Figura 39), i commerciali leggeri (Figura 40) e i

mezzi pesanti (Figura 41). A partire da tali distribuzioni giornaliere e dal valore di picco di traffico mattutino, sono stati stimati i flussi per tipologia di veicolo e di strada per ogni arco stradale.

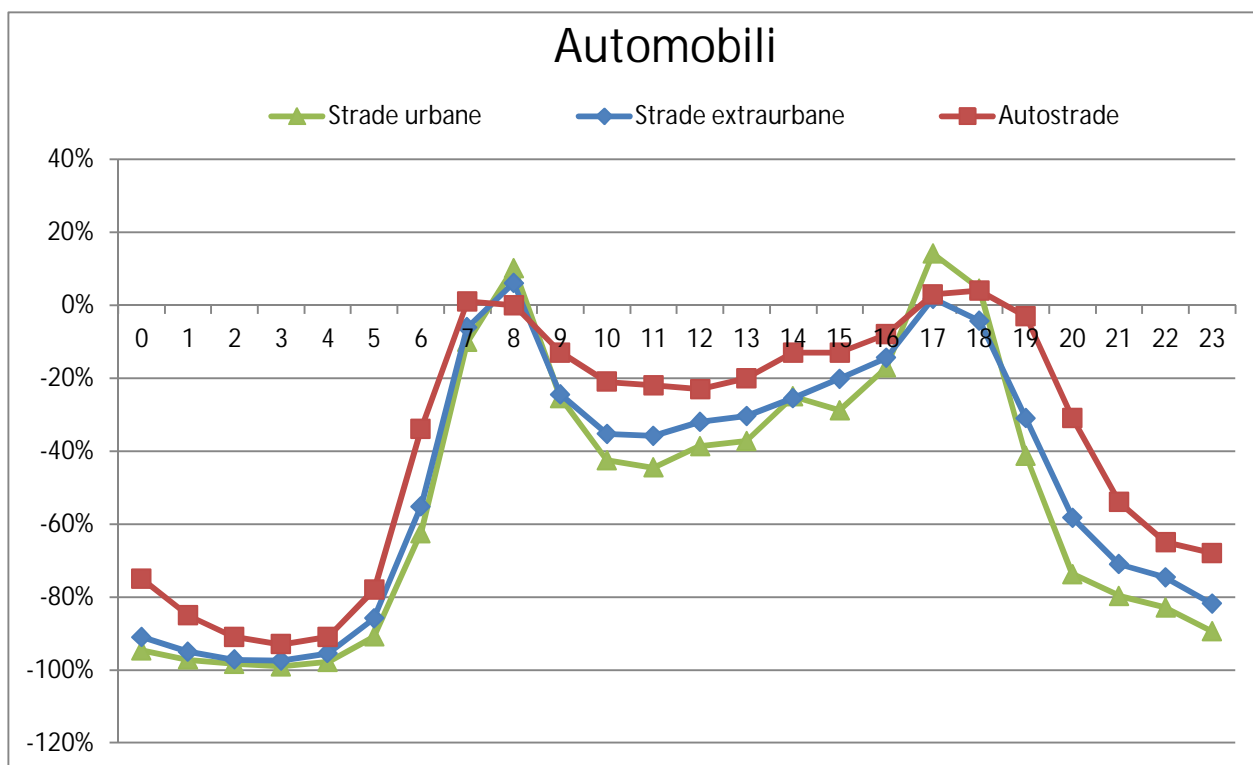


Figura 39: Modulazione del flusso orario di veicoli rispetto al flusso dell'ora di punta per le automobili

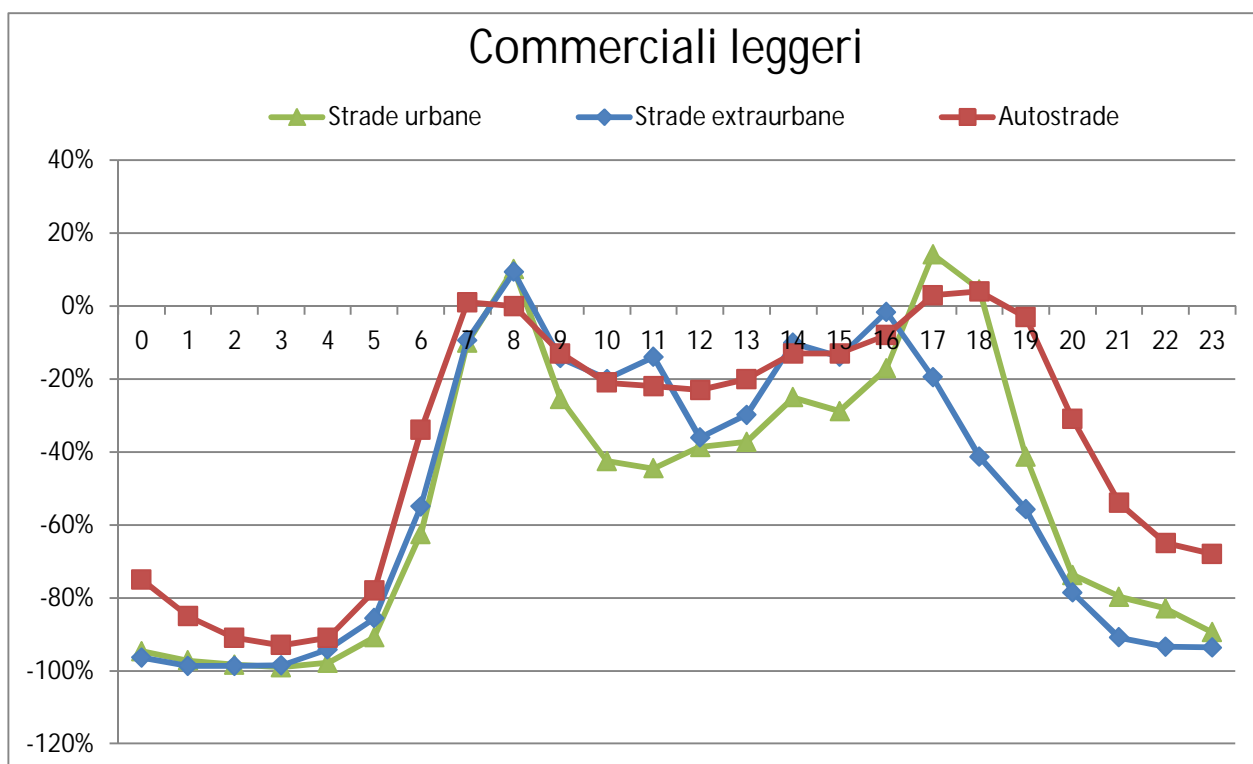


Figura 40: Modulazione del flusso orario di veicoli rispetto al flusso dell'ora di punta per i commerciali leggeri

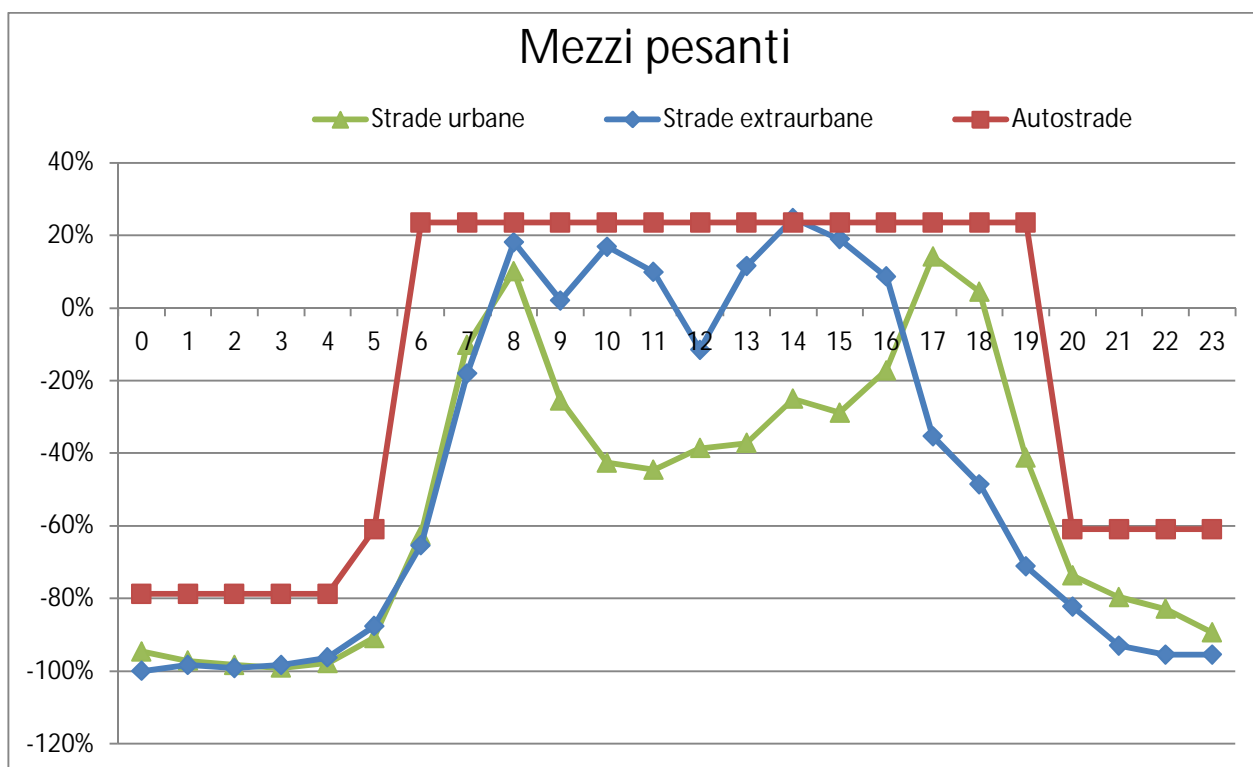


Figura 41: Modulazione del flusso orario di veicoli rispetto al flusso dell'ora di punta per i mezzi pesanti

Per la stima delle emissioni dovute al traffico veicolare sono stati impiegati i fattori di emissione proposti da INEMAR Lombardia per PM₁₀, NO_x, CO e COV per tipologia di veicolo e di strada, riportati di seguito.

Tabella 25: Fattori di emissione medi da traffico in Lombardia nel 2014 (Fonte: INEMAR Lombardia 2014)

Tipo di veicolo	Tipo di strada	Fattori di emissione per inquinante (mg/km*veicolo)			
		PM ₁₀	NO _x	CO	COV
Automobili	Autostrade	30	453	449	17
	Strade extraurbane	35	367	264	21
	Strade urbane	48	492	618	57
Veicoli leggeri < 3,5 t	Autostrade	77	916	497	38
	Strade extraurbane	62	737	267	40
	Strade urbane	84	907	492	70
Veicoli pesanti > 3,5 t	Autostrade	168	4'174	1'090	159
	Strade extraurbane	211	5'311	1'302	232
	Strade urbane	265	6'966	1'778	361

La stima delle emissioni delle categorie veicolari considerate è stata effettuata tramite la seguente equazione:

$$E(a, i, h) = n_{veic}(a, t, h) * lung(a) * FE(t, i)$$

dove:

E = emissione da traffico dello scenario considerato, dell'arco a, per l'inquinante i, all'ora h (espressa in g/h),

a = arco del grafo stradale,

i = inquinante,

n_veic = numero di veicoli di tipo t circolanti nella fascia oraria h, sull'arco a,

t = tipologia del veicolo,

lung = lunghezza dell'arco a (in km),

FE = fattore di emissione in funzione del tipo di strada, del mezzo t, dell'inquinante i (in g/km).

Per stimare il flusso di traffico e le relative emissioni nei giorni prefestivi e festivi è stata utilizzata la distribuzione settimanale media dei 9 rilevamenti riportati nel documento "Monitoraggio del traffico Ante operam e aggiornamento della piattaforma modellistica di verifica". Il flusso veicolare nei giorni prefestivi e festivi è risultato essere rispettivamente pari al 57,7% e al 44,3% rispetto al valore medio dei giorni feriali. Si specifica che sono stati valutati come festivi, oltre alla domenica, anche i giorni di festività dell'anno 2017, anno di simulazione. Inoltre sulle autostrade è stato considerato il calendario dei divieti di circolazione relativo all'anno 2017 vigente per i mezzi pesanti negli orari e nei giorni stabiliti dal Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti 2017 nell'articolo 1 del Decreto Ministeriale n. 439 del 13 dicembre 2016 "Direttive e calendario per le limitazioni alla circolazione stradale fuori dai centri abitati per l'anno 2017".

In Tabella 26 si riportano i chilometri percorsi dai veicoli nell'ora di punta mattutina del giorno feriale, distinti per tipologia, per i 4 scenari di traffico ricostruiti con il modello; in

Tabella 27 si riportano le relative emissioni per ciascun inquinante considerato; come si può osservare le emissioni dello scenario Post operam risultano le maggiori, pertanto non sono stati simulati gli scenari intermedi. In ultimo si specifica che le emissioni da traffico sono state trattate come volumetriche.

Tabella 26: Chilometri percorsi per tipologia di veicolo sui tratti del grafo stradale nell'ora di punta del giorno feriale

Scenario	Anno	Tipologia di veicolo			Totale
		Auto	Comm. leggeri	Mezzi pesanti	
		[km percorsi]			
Ante operam	2018	101'309	4'171	4'209	109'690
Intermedio 1	2022	106'267	4'444	4'250	114'961
Intermedio 2	2024	116'703	4'018	4'151	124'871
Post operam	2029	120'848	3'999	3'962	128'809

Tabella 27: Emissioni da traffico stimate per i 4 scenari in esame per tipologia di veicolo nell'ora di punta del giorno feriale

Inquinante	Scenario	Tipologia di veicolo			Totale
		Auto	Comm. leggeri	Mezzi pesanti	
		[kg/h]			
PM ₁₀	Ante operam	3,18	0,31	0,74	4,24
	Intermedio 1	3,39	0,33	0,75	4,48
	Intermedio 2	3,80	0,30	0,73	4,84
	Post operam	3,96	0,30	0,70	4,96
NO _x	Ante operam	44,70	3,70	18,57	66,97
	Intermedio 1	46,86	3,94	18,84	69,65
	Intermedio 2	51,59	3,56	18,33	73,48
	Post operam	53,52	3,55	17,53	74,60
CO	Ante operam	43,06	1,92	4,79	49,77
	Intermedio 1	45,37	2,04	4,86	52,27
	Intermedio 2	50,46	1,84	4,73	57,03
	Post operam	52,57	1,84	4,52	58,93
COV	Ante operam	1,90	0,16	0,74	2,80
	Intermedio 1	2,11	0,18	0,75	3,04
	Intermedio 2	2,49	0,16	0,73	3,38
	Post operam	2,62	0,16	0,70	3,48

In Tabella 28 si riportano le emissioni totali annue per tipologia di strada e di veicolo per i 2 scenari simulati, tenendo conto della presenza dei giorni prefestivi e festivi. In

Tabella 29 sono riportati gli esiti della stima delle emissioni complessive prodotte dai veicoli circolanti nei tratti stradali in analisi per gli scenari Ante e Post operam, nonché la differenza percentuale.

Tabella 28: Emissioni da traffico stimate con dettaglio per tipologia di strada e di veicolo per gli scenari Ante e Post operam

Inquinante	Scenario	Autostrade			Strade extraurbane			Strade urbane		
		Auto	Comm. leggeri	Mezzi pesanti	Auto	Comm. leggeri	Mezzi pesanti	Auto	Comm. leggeri	Mezzi pesanti
		[t/a]								
PM ₁₀	Ante operam	11,66	1,23	3,33	2,10	0,14	0,56	0,42	0,03	0,09
	Post operam	12,46	1,16	3,14	2,71	0,14	0,50	2,00	0,04	0,11
NO _x	Ante operam	175,24	14,58	82,77	21,89	1,70	14,09	4,33	0,30	2,31
	Post operam	187,25	13,83	77,94	28,29	1,64	12,63	20,53	0,39	2,88
CO	Ante operam	173,67	7,91	21,61	15,72	0,62	3,46	5,45	0,16	0,59
	Post operam	185,57	7,50	20,35	20,31	0,59	3,10	25,81	0,21	0,74
COV	Ante operam	6,68	0,61	3,15	1,25	0,09	0,62	0,50	0,02	0,12
	Post operam	7,13	0,58	2,97	1,61	0,09	0,55	2,36	0,03	0,15

Tabella 29: Emissioni da traffico stimate per i 2 scenari in esame e variazione

Scenario	U.d.M.	Inquinanti			
		PM ₁₀	NO _x	CO	COV
Ante operam	t/a	19,6	317,2	229,2	13,0
Post operam	t/a	22,3	345,4	264,2	15,5
Variazione	t/a	2,7	28,2	35,0	2,4
	%	14%	9%	15%	19%

Le emissioni nello scenario Post operam prevedono complessivamente un aumento dei flussi di traffico e quindi anche un incremento delle emissioni (come dettagliato in

Tabella 29); rapportando tale incremento alle emissioni del trasporto su strada (macrosettore 7 di INEMAR, Tabella 30) dei comuni coinvolti si ottengono variazioni percentuali molto contenute: inferiori al 7% per PM₁₀ e CO, al di sotto del 6% per NO_x, ed inferiori all'1% per i COV. Inoltre nei comuni di Bollate e Pero non si prevedono variazioni rispetto alla situazione attuale per nessun inquinante. La variazione complessiva delle emissioni dei 6 comuni interessati dal traffico indotto derivante dal progetto sarà al massimo pari allo 0,7%.

Tabella 30: Peso percentuale delle emissioni prodotte rispetto alle emissioni da traffico di ciascun comune

Peso percentuale emissioni del traffico indotto	Comune	Inquinanti			
		PM ₁₀	NO _x	CO	COV
(Post - Ante operam) / Emissioni INEMAR Macrosettore 7 [%]	Arese	1,0	0,8	1,0	0,2
	Baranzate	6,3	5,2	6,3	1,0
	Bollate	0,0	0,0	0,0	0,0
	Milano	0,5	0,4	0,3	0,1
	Pero	-0,2	-0,5	0,0	-0,1
	Rho	2,2	1,7	2,2	0,8
	Totale	0,7	0,5	0,5	0,1

Le emissioni degli inquinanti più critici (PM₁₀ e NO_x), espresse in mg/giorno feriale/km, sono riportate nelle figure seguenti.

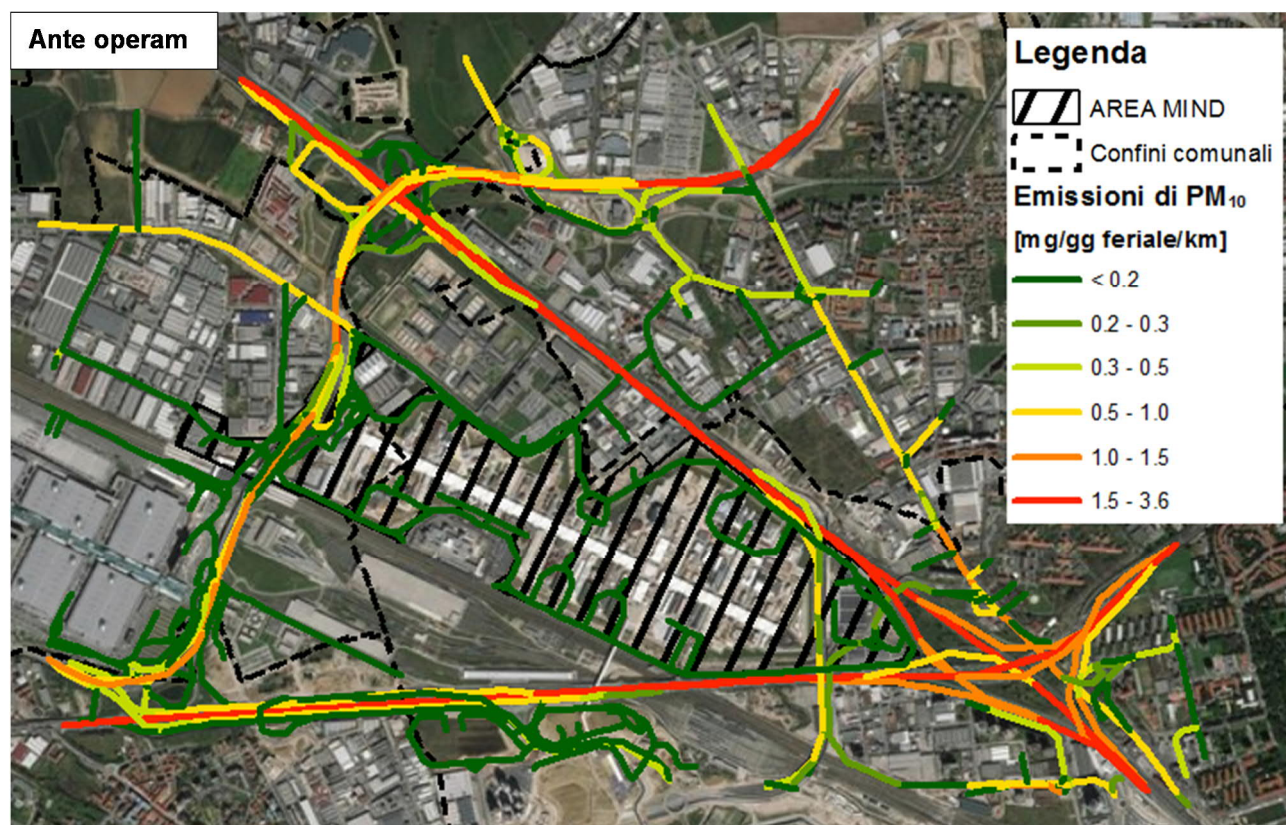


Figura 42: Emissioni di PM₁₀ da traffico nello scenario Ante operam

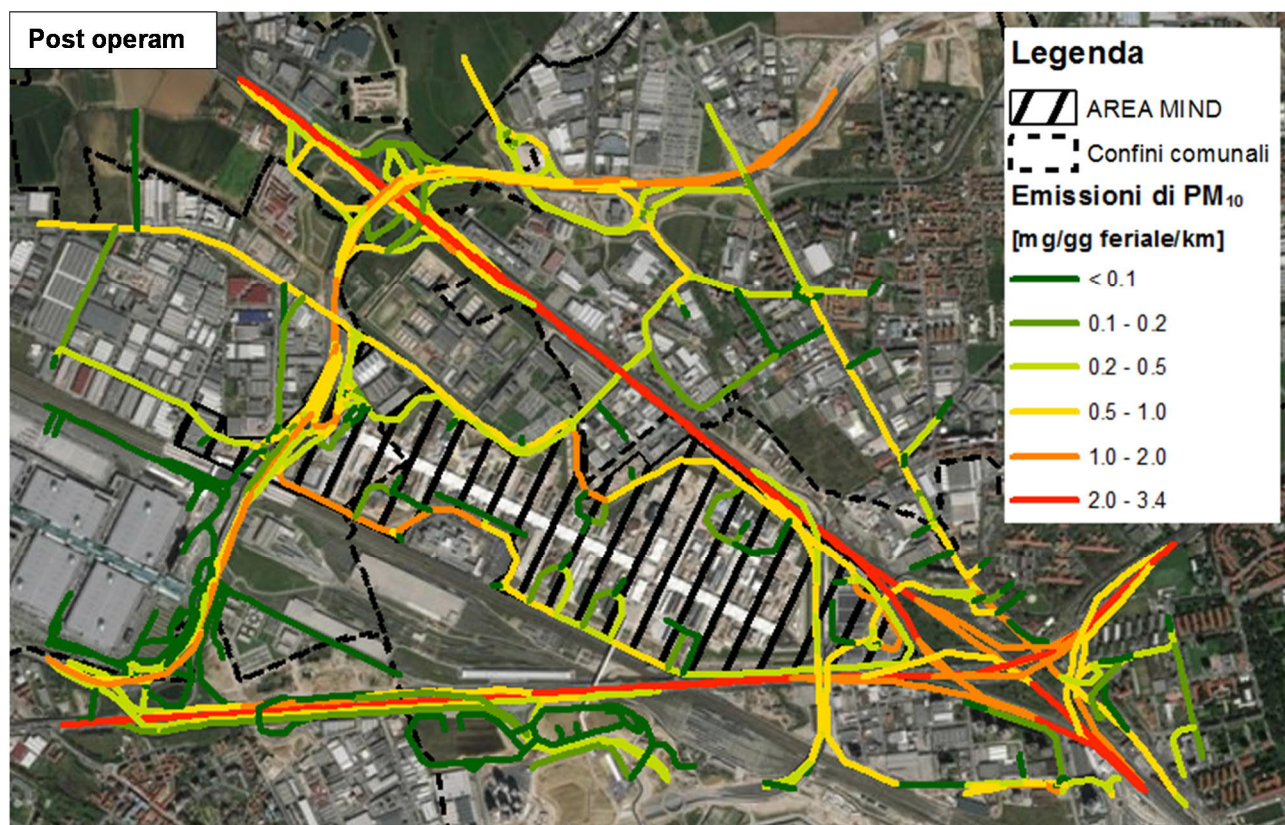


Figura 43: Emissioni di PM₁₀ da traffico nello scenario Post operam



Figura 44: Emissioni di NO_x da traffico nello scenario Ante operam

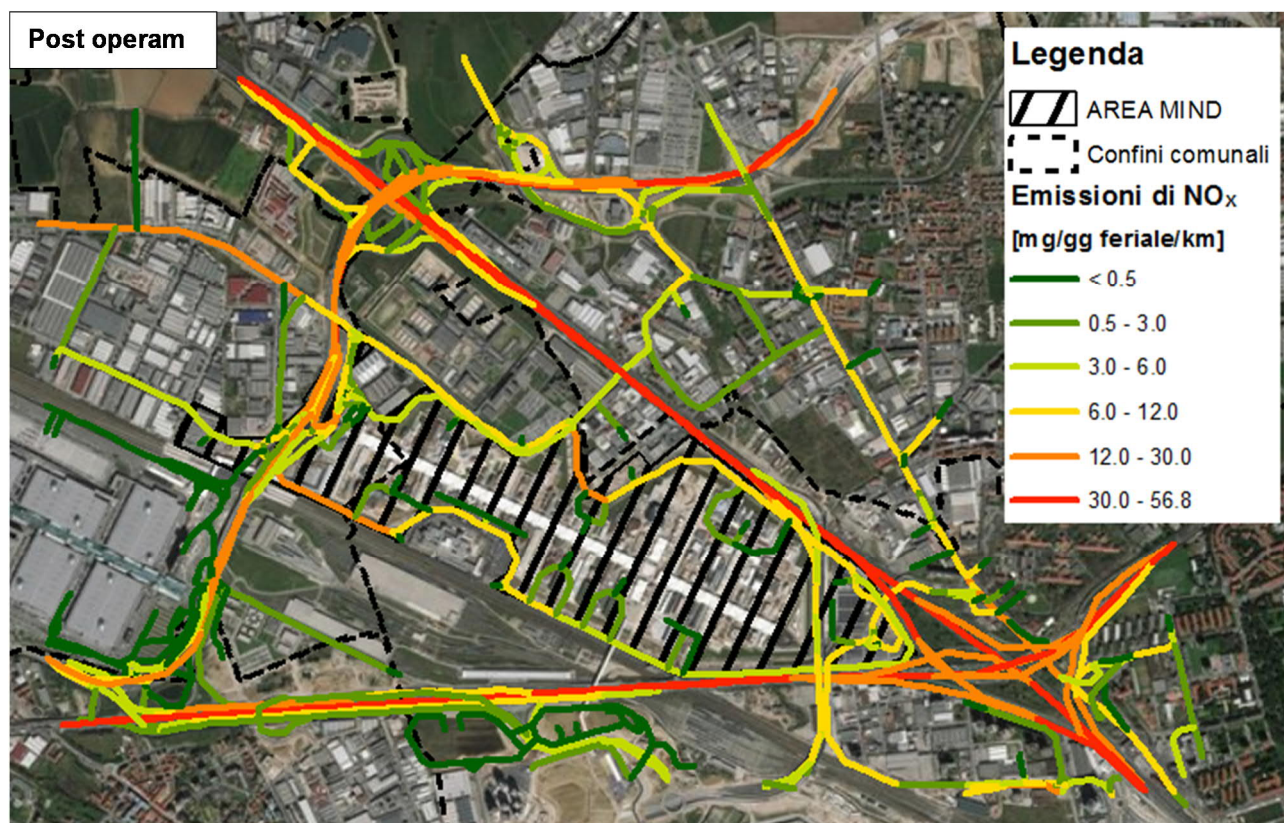


Figura 45: Emissioni di NO_x da traffico nello scenario Post operam

Al fine di ricostruire al meglio le condizioni emissive derivanti dal traffico stradale, gli archi più lunghi di 55 m sono stati spezzati ogni 50 m e pertanto le sorgenti volumetriche simulate risultano rispettivamente 1'674 e 1'829 per gli scenari Ante e Post operam. La lunghezza complessiva del grafo stradale interessato da flussi di traffico e pertanto emissioni è rispettivamente pari a circa 70 km e 76 km per gli scenari Ante e Post operam, considerando per le strade urbane ed extraurbane un singolo tratto stradale per l'intera carreggiata, mentre per le autostrade sono stati conteggiati per senso di marcia.

Nello scenario Post operam sono state considerate anche le emissioni legate agli Energy Center (EC1 ed EC3). Le caratteristiche geometriche ed emissive delle 2 sorgenti, modellizzate come puntuali, sono riportate nella tabella seguente. La localizzazione degli Energy Center è indicata in Figura 46.

Tabella 31: Caratteristiche delle sorgenti puntuali

Sorgente	Altezza [m]	Sezione [m ²]	Temp. [°C]	Velocità d'uscita dei fumi [m/s]	Emissioni [t/a]				
					PTS	NO _x	CO	SO ₂	NH ₃
EC1	30	0,5	150	4,5	6	8	2,6	0,2	2
EC3	15	0,5	150	4,5	1,5	2	0,6	0,05	0,5

Il contributo emissivo è molto contenuto in termini di ossidi di zolfo (SO₂) e ammoniaca (NH₃), mentre per gli altri inquinanti, propri anche del traffico stradale (polveri, ossidi di azoto e monossido di carbonio) sono stati valutati gli effetti di cumulo.

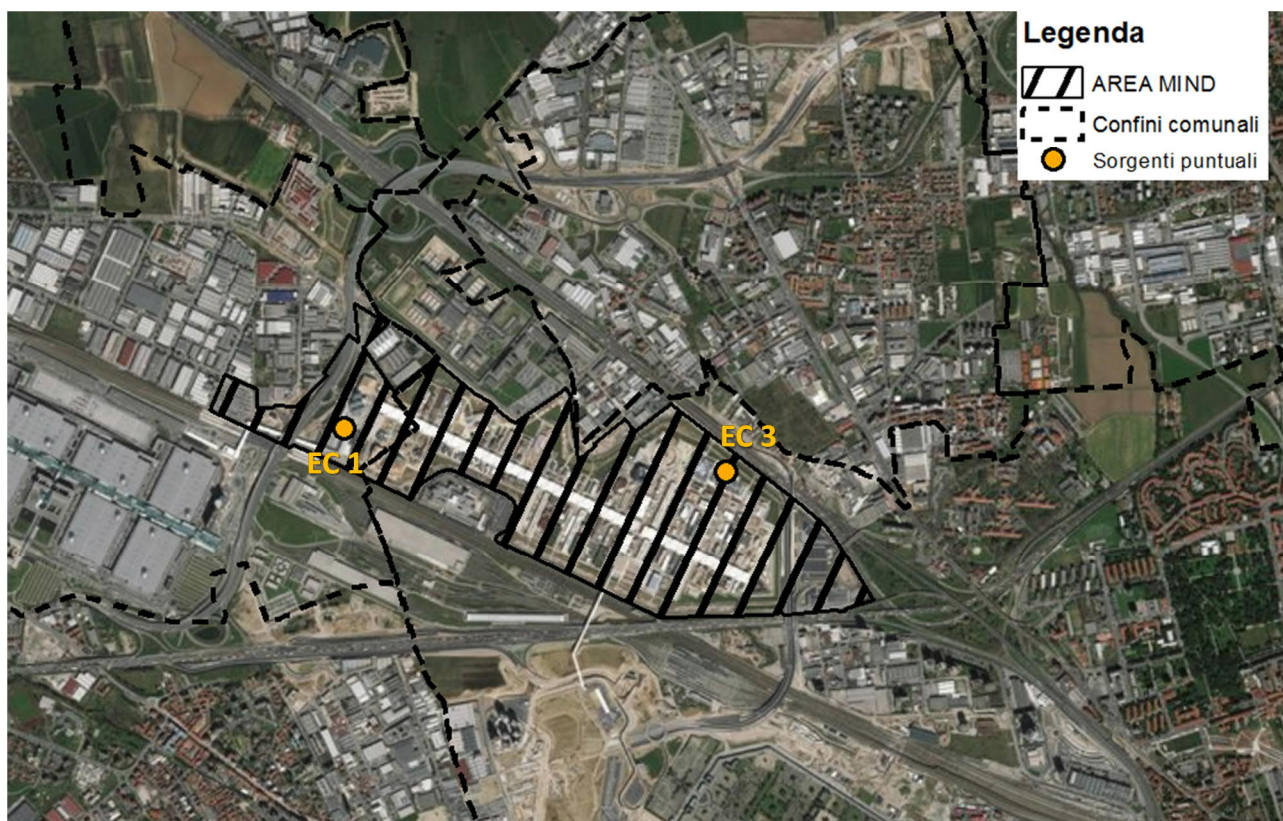


Figura 46: Localizzazione delle sorgenti puntuali

6.4. Fase di cantiere

Di seguito vengono descritte le principali operazioni che contribuiscono all'emissione di inquinanti in atmosfera. In particolare, l'analisi è stata condotta valutando il particolato emesso in quanto costituisce il principale fattore di impatto. Si è inoltre deciso di incentrare la stima sul PM_{10} anziché sulle Polveri Totali Sospese (PTS), sia in relazione alla maggiore pericolosità intrinseca per la salute umana, che per la possibilità di poter confrontare i risultati delle simulazioni con i limiti normativi vigenti.

Le attività di cantiere che contribuiscono alle emissioni di particolato in atmosfera sono:

- o demolizione e frantumazione degli edifici esistenti;
- o scotico del terreno per la preparazione delle aree da cantiere;
- o scavo, sbancamento e movimentazione delle terre;
- o erosione del vento dai cumuli;
- o passaggio dei mezzi di cantiere su strade non asfaltate.

L'area di cantiere, delimitata con apposita segnaletica, si estenderà su gran parte dell'area del Sito (Figura 47). Tale superficie si strutturerà in diverse aree di cantiere che si definiranno in base alle sequenzialità dei lavori, quindi si avrà una macro area di cantiere caratterizzata da singoli lotti ciascuno con una propria organizzazione indipendente per gestire con flessibilità le attività.

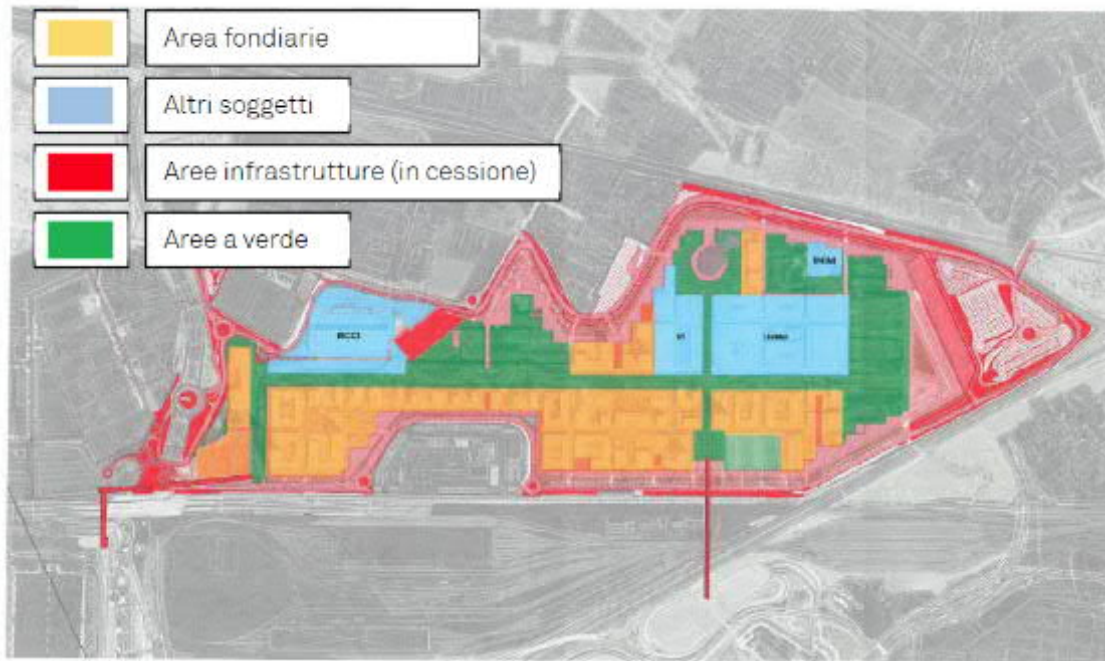


Figura 47: Area di progetto

Al fine di descrivere la scansione temporale degli interventi, si è scelto di rappresentare i successivi momenti insediativi che caratterizzeranno lo sviluppo del progetto MIND, attraverso una realizzazione articolata in fasi successive, ciascuna della durata indicativa di 4/5 anni, le quali verosimilmente non avranno luogo secondo nette scansioni temporali distinte, ma piuttosto in parziale sovrapposizione.

La distribuzione spaziale è illustrata nella figura seguente e prevede indicativamente i seguenti step temporali:

- o Periodo 2018 - 2019: avvio della costruzione dell'ancora pubblica "IRRCS Galeazzi" e l'adeguamento degli edifici "Palazzo Italia", "Edificio Cardo NO", "Edificio US6" realizzati per l'esposizione Universale 2015, che ospiteranno l'iniziale nucleo di ricercatori dell'ancora pubblica Human Technopole; tale fase corrisponde all'attuale periodo di trasformazione dell'area e precede l'approvazione del Piano Integrato di Intervento;
- o Periodo 2019 - 2023: sviluppo degli ambiti adiacenti ai nuclei attivati precedentemente e confinanti con l'accesso Ovest dell'area e con il Cardo, con l'obiettivo di irrobustire i due poli iniziali con funzioni e servizi complementari. Si caratterizza per l'insediamento in prossimità del Cardo della terza ancora pubblica, l'Università degli Studi di Milano con le sue facoltà scientifiche, per l'attivazione del primo ambito di funzioni urbane private in prossimità dell'ospedale Galeazzi, nonché per l'avvio della realizzazione del parco tematico di MIND in prossimità di Cascina Triulza;
- o Periodo 2022 - 2026: consolida gli spazi centrali dell'area di MIND e completa la realizzazione del grande parco tematico su tutto il perimetro di intervento;
- o Periodo 2025 - 2029: garantisce la sistemazione definitiva degli spazi di frangia dello sviluppo di MIND e ne sancisce il completamento.



Figura 48: distribuzione spaziale e temporale del cantiere

Per la stima delle emissioni sono state utilizzate le metodologie proposte dall'Environment Protection Agency (EPA) che ha pubblicato nel 1987 e successivamente aggiornato, una serie di documenti sotto la sigla AP-42 in cui sono dettagliatamente descritte le procedure per il calcolo dei fattori di emissione delle polveri dovute alla movimentazione e lavorazione di materiale fine. Gli stessi metodi di stima sono ripresi anche nel documento "Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti" rilasciate dalla Provincia di Firenze in collaborazione con ARPA Toscana che fornisce anche alcune indicazioni aggiuntive e spunti applicativi.

La stima delle emissioni si basa sull'equazione:

$$E = A \times F$$

dove:

E = emissione

A = tasso di attività

F = fattore di emissione

In relazione all'attività indagata sono stati calcolati sperimentalmente i diversi fattori di emissione e, attraverso il tasso di attività (es. i volumi di materiale movimentato), il valore dell'emissione totale.

6.4.1. Demolizione degli edifici

Per quanto riguarda la fase di demolizione l'EPA non indica un fattore emissivo specifico, è stato quindi considerato cautelativamente quello relativo alla frantumazione secondaria (Secondary Crushing - tra 25 e 100 mm) nelle operazioni di manipolazione degli inerti. Il fattore emissivo è pari a $4,3 \times 10^{-3}$ kg di PM_{10} per tonnellata di materiale demolito.

Considerando le volumetrie da demolire e una densità del materiale pari a $1,7 \text{ t/m}^3$ sono state calcolate le emissioni di particolato (PM_{10}) generate per ogni fase di cantiere (Tabella 32).

Tabella 32: Emissioni stimate di PM₁₀ per le differenti fasi di cantiere per le operazioni di demolizione

Anni	Volumi demoliti [m ³]	Emissioni PM ₁₀ [kg]
2018 - 19	20'486	149,8
2019 - 23	390'096	2'851,6
2022 - 26	267'292	1'953,9
2025 - 29	66'457	485,8

Le volumetrie sono state calcolate considerando l'intero sviluppo degli edifici anche se in realtà gran parte delle strutture infatti sono formate da legno e metallo, tipologie di materiali che non producono polveri in atmosfera. Visto anche il fattore emissivo proposto, la stima si deve intendere estremamente cautelativa.

6.4.2. Scotico del terreno superficiale

Tale attività consiste nella rimozione dello strato superficiale del terreno attraverso l'utilizzo di ruspe o escavatori. Il volume totale per ogni fase di cantiere è stato calcolato considerando tutte le aree di progetto non interessate dallo sviluppo degli edifici attuali o futuri (aree pavimentate, aree a verde e aree canali) per una profondità di scotico pari a 20 cm.

Il coefficiente di emissione di PM₁₀ suggerito dal modello EPA per queste operazioni assume il valore di $1,7 \times 10^{-2}$ kg per tonnellata di materiale movimentato (Tabella 11.9-4 delle linee guida EPA AP42 – Topsoil removal by scraper²).

In Tabella 33 sono riportate le emissioni di PM₁₀ stimate per ogni fase, considerando la densità del materiale pari a 1,7 t/m³.

Tabella 33: Emissioni stimate di PM₁₀ per le differenti fasi di cantiere per le operazioni di scotico

Anni	Volumi movimentati [m ³]	Emissioni PM ₁₀ [kg]
2018 - 19	8'959	265,0
2019 - 23	35'189	1040,9
2022 - 26	33'417	988,5
2025 - 29	11'066	327,3

6.4.3. Perforazioni per pali di fondazione

Il palo di fondazione è un tipo di fondazione profonda (o indiretta) che presenta la peculiarità, rispetto alla fondazione diretta, di trasmettere una parte non trascurabile del carico verticale per attrito lungo la superficie laterale della fondazione. Per tali operazioni è stato considerato un fattore di emissione di PM₁₀ pari a $3,54 \times 10^{-1}$ kg per ogni perforazione effettuata (Tabella 11.9-4 delle linee guida EPA AP42 – Drilling overburden).

In funzione del numero di pali da realizzare per ogni fase di cantiere e della densità del materiale estratto considerata pari a 1,7 t/m³ sono state calcolate le emissioni totali di PM₁₀ (Tabella 34).

² Le linee guida EPA riportano il fattore emissivo per le polveri totali sospese (PTS). Per la conversione a PM₁₀ è stato considerato PM₁₀ = 60% PTS così come indicato nelle linee guida di ARPA Toscana.

Tabella 34: Emissioni stimate di PM10 per le differenti fasi di cantiere per le operazioni di perforazione

Anni	Pali [n.]	Emissioni PM ₁₀ [kg]
2018 - 19	144	51,0
2019 - 23	1'300	460,2
2022 - 26	1'512	535,2
2025 - 29	972	344,1

6.4.4. Scavi e sbancamenti

Per le operazioni di scavo le linee guida EPA prevedono un fattore emissivo pari a $3,9 \times 10^{-4}$ kg di PM₁₀ per tonnellata di materiale movimentato (Sand handling, transfer and storage).

In funzione dei volumi di scavo per ogni fase e alla densità del materiale estratto, considerata pari a 1,7 t/m³, sono state calcolate le emissioni totali di PM₁₀, riportate nella Tabella seguente.

Tabella 35: Emissioni stimate di PM10 per le differenti fasi di cantiere per le operazioni di scavo

Anni	Volumi scavati [m ³]	Emissioni PM ₁₀ [kg]
2018 - 19	317'915	123,0
2019 - 23	757'300	293,1
2022 - 26	556'608	215,4
2025 - 29	284'033	109,9

6.4.5. Movimentazione delle terre e dei detriti

I principali parametri che influenzano i fenomeni di generazione delle polveri nelle operazioni di movimentazione del terreno sono:

- o dimensione del materiale;
- o umidità del materiale;
- o velocità del vento.

La formulazione proposta dall'EPA (AP-42 paragrafo 13.2.4) è la seguente:

$$F = k \cdot 1,6 \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}}$$

dove:

F = fattore di emissione del particolato in grammi per tonnellata di materiale movimentato [g/t]

U = velocità media del vento [m/s]

M = umidità del materiale [%]

k = fattore che tiene conto delle caratteristiche dimensionali delle particelle [adim.] (Tabella 36)

Tabella 36: Costante k in funzione delle dimensioni del particolato

≤ 30 μm	≤ 15 μm	≤ 10 μm	≤ 5 μm	≤ 2,5 μm
0,74	0,48	0,35	0,20	0,11

L'equazione permette di considerare le emissioni di particolato provenienti da tutte le operazioni di movimentazione del materiale in seno alle aree di stoccaggio, siano esse di tipo continuo (ad esempio nastri trasportatori) che puntuali (prelievo e aggiunta di materiale mediante carri, ruspe, ecc.). Per ogni singola sorgente deve essere valutato il numero di operazioni che interessano lo stoccaggio, in quanto è possibile esistano operazioni intermedie di ripresa materiale per deposito in altra area.

La stima delle emissioni si ottiene dunque dalla formula:

$$E = N \cdot F \cdot B$$

dove:

N = numero di operazioni di carico e scarico [adim.]

F = fattore di emissione [g/t]

B = volumi movimentati [t]

Nel caso in esame sono state fatte differenti considerazioni in base al tipo di materiale movimentato. Per quanto riguarda il materiale derivante dalle operazioni di demolizione destinato allo smaltimento in discarica, l'operazione considerata è solo quella di carico del materiale sui camion (N=1). Per il materiale derivante dalle operazioni di scavo e riutilizzato nei reinterri sono state considerate 4 operazioni (N=4):

- o carico delle terre in area di scavo o scotico;
- o scarico delle terre in area di accumulo;
- o carico delle terre all'area di accumulo;
- o scarico delle terre all'area finale di cantiere.

Infine per il materiale derivante dalle operazioni da scavo destinato alla discarica, sono state considerate solo le prime tre operazioni elencate in precedenza (N=3), in quanto lo scarico avverrà in area esterna all'area di cantiere.

In Tabella 37 sono indicati i fattori di emissione calcolati per le differenti tipologie di materiale e in Tabella 38 le emissioni totali stimate per ogni fase di cantiere. Per il calcolo sono stati utilizzati i seguenti valori:

- o $k = 0,35$ - Coefficiente specifico per il calcolo delle emissioni di PM_{10} ;
- o $M = 0,7\%$ - Valore di umidità per i detriti derivanti dalle operazioni di demolizione (valore cautelativo estrapolato dalla Tabella 13.2.4-1 delle linee guida EPA AP42 - Crushed limestone);
- o $M = 3,4\%$ - Valore di umidità per i terreni derivanti dalle operazioni di scavo (valore cautelativo estrapolato dalla Tabella 13.2.4-1 delle linee guida EPA AP42 - Exposed overburden);
- o $U = 2,0$ m/s - Velocità media rilevata per l'anno 2017 presso la centralina ARPA di Rho.

Tabella 37: Emissioni stimate di PM_{10} per le differenti fasi di cantiere per le operazioni di scavo

Operazione/Materiale	Fattore emissivo PM_{10} [kg/t]
Movimentazione dei detriti da demolizioni	$2,15 \times 10^{-3}$
Movimentazione delle terre da scavo	$2,35 \times 10^{-4}$

Tabella 38: Emissioni stimate di PM10 per le differenti fasi di cantiere per le operazioni di movimentazione del materiale

Anni	Materiale e destinazione	Volumi movimentati [m³]	N. di operazioni	Emissioni PM ₁₀ [kg]
2018 - 19	Detriti da demolizioni per discarica	20'486	1	74,9
	Terre da scavo per discarica	294'789	3	353,9
	Terre da scavo per reinterri	23'126	4	37,0
2019 - 23	Detriti da demolizioni per discarica	390'096	1	1426,6
	Terre da scavo per discarica	672'523	3	807,3
	Terre da scavo per reinterri	84'777	4	135,7
2022 - 26	Detriti da demolizioni per discarica	267'292	1	977,5
	Terre da scavo per discarica	485'436	3	582,7
	Terre da scavo per reinterri	71'172	4	113,9
2025 - 29	Detriti da demolizioni per discarica	66'457	1	243,0
	Terre da scavo per discarica	253'673	3	48,6
	Terre da scavo per reinterri	30'360	4	304,5

6.4.6. Risollevarimento delle polveri da parte del vento

Le linee guida EPA (AP42 Capitolo 13.2.5) forniscono le relazioni per la stima del fattore di emissione associato all'erosione dei cumuli da parte del vento. Tale fattore (denominato P ed espresso in g/m²) è correlato ai seguenti parametri:

- o u^* (velocità di attrito), funzione dell'azione tangenziale del vento sulle superfici esposte;
- o u^*_c (velocità di soglia) corrispondente alla minima velocità di attrito per l'innesto dei fenomeni erosivi.
- o k, indicatore rappresentativo della classe granulometrica del materiale eroso (i valori di k forniti dall'EPA sono riportati nella seguente tabella).

Tabella 39: Costante k in funzione delle dimensioni del particolato

$\leq 30 \mu\text{m}$	$\leq 15 \mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$	$\leq 2,5 \mu\text{m}$
0,74	0,48	0,35	0,11

Le seguenti espressioni forniscono la stima del fattore di emissione P (g/m²) in funzione dei parametri indicati in precedenza.

$$P = k (58 (u^* - u^*_c)^2 + 25 (u^* - u^*_c)) \quad \text{se } u^* > u^*_c$$

$$P = 0 \quad \text{se } u^* \leq u^*_c$$

Le linee guida EPA forniscono inoltre la relazione tra la velocità del vento misurata a 10 m e la velocità di attrito u^* pari a:

$$u^* = 0,053 u^{10m}$$

Infine per il calcolo della velocità di soglia u^*_c l'EPA suggerisce di effettuare delle prove granulometriche in campo utilizzando setacci di diverse dimensioni in modo da individuare il valore limite di risollevarimento delle particelle in base alla loro dimensione. Per alcuni tipi di materiali l'EPA fornisce un valore medio di velocità di soglia u^*_c (Figura 49). Cautelativamente è stato considerato il valore di soglia più basso tra quelli presenti in Figura 49 pari a 0,54 m/s che corrisponde a una velocità del vento a 10 m dal suolo di 10,2 m/s.

Material	Threshold Friction Velocity (m/s)	Roughness Height (cm)	Threshold Wind Velocity At 10 m (m/s)	
			$z_0 = \text{Act}$	$z_0 = 0.5 \text{ cm}$
Overburden ^a	1.02	0.3	21	19
Scoria (roadbed material) ^a	1.33	0.3	27	25
Ground coal (surrounding coal pile) ^a	0.55	0.01	16	10
Uncrusted coal pile ^a	1.12	0.3	23	21
Scraper tracks on coal pile ^{a,b}	0.62	0.06	15	12
Fine coal dust on concrete pad ^c	0.54	0.2	11	10

^a Western surface coal mine. Reference 2.

^b Lightly crusted.

^c Eastern power plant. Reference 3.

Figura 49: Valori soglia di riferimento per alcuni tipi di materiali (Fonte: EPA AP42 13.2.5)

Utilizzando i valori orari di velocità del vento rilevati nella centralina ARPA di Rho, si è verificato che velocità del vento maggiori di 10,2 m/s si sono verificate una sola volta nell'arco di tutto il 2017. Si ritengono quindi trascurabili le emissioni dovute al risollevarimento delle polveri da parte del vento.

6.4.7. Transito dei mezzi su strade non asfaltate

Per il calcolo delle emissioni di particolato dovuto al transito dei mezzi su strade non asfaltate sono state considerate le linee guida EPA nel documento AP-42 paragrafo 13.2.2 "Unpaved roads". Secondo tale metodologia il rateo emissivo risulta proporzionale al volume di traffico e al contenuto di limo del suolo (inteso come particolato di diametro inferiore a 75 µm). Il fattore di emissione lineare, in funzione del tipo di particolato, si calcola secondo la seguente formula:

$$EF = k \cdot (s/12)^a \cdot (W/3)^b$$

dove:

EF = fattore di emissione del particolato in kg per chilometro percorso [kg/km]

s = contenuto in limo del suolo in percentuale in massa [%]

W = peso medio del veicolo [t]

K, a e b = coefficienti che tengono conto delle caratteristiche dimensionali delle particelle (Tabella 40) [adim.]

Tabella 40: Costante k in funzione delle dimensioni del particolato

Parametro	$\leq 30 \mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$	$\leq 2,5 \mu\text{m}$
k	1,38	0,423	0,0423
a	0,7	0,9	0,9
b	0,45	0,45	0,45

Per i calcoli è stata considerata una capienza dei camion di 20 t di peso per la movimentazione delle terre da scavo e dei detriti derivanti dalle demolizioni e di 15 t di peso per quanto riguarda i materiali da costruzione. I tratti di strada non asfaltata sono previsti solo all'interno dei vari lotti di cantiere, per consentire il transito dei mezzi d'opera, a passo d'uomo, intorno alle strutture da costruire. Si è considerato quindi un valore estremamente cautelativo pari a 500 m.

Gli altri dati considerati sono:

- o W = 28 t peso medio dei camion;
- o s= 7,5% contenuto di limo del suolo (valore estrapolato dalla Tabella 13.2.4-1 delle linee guida EPA AP42 – Exposed overburden).

Infine le linee guida di ARPA Toscana definiscono un metodo indicativo per il calcolo dell'efficienza di rimozione delle polveri in funzione del bagnamento del manto stradale. Infatti, al fine di ridurre il più possibile l'impatto della fase di cantiere saranno messi in atto una serie di accorgimenti per la minimizzazione delle emissioni di particolato in atmosfera. La formula indicata è quella proposta da Cowherd et al (1998):

$$C(\%) = 100 - (0.8 \cdot P \cdot trh \cdot \tau) / l$$

dove:

C = l'efficienza di abbattimento del bagnamento (%)

P = il potenziale medio dell'evaporazione giornaliera (mm/h)

trh = traffico medio orario (h⁻¹)

l = quantità media del trattamento applicato (l/m²)

t = intervallo di tempo che intercorre tra le applicazioni (h).

Com'è evidente dalla formula indicata, per massimizzare l'efficienza si può agire sia sulla frequenza delle applicazioni, che sulla quantità d'acqua per superficie trattata, in relazione al traffico medio orario. Considerando un bagnamento costante orario si è stimata una efficienza di abbattimento delle polveri pari al 90% (Tabella 11 delle linee guida ARPA Toscana).

In Tabella 41 e Tabella 42 sono riportati i fattori di emissione e le emissioni risultanti.

Tabella 41: Fattore emissivo per il transito dei mezzi su strade non asfaltate

Operazione/Materiale	Fattore emissivo PM ₁₀ [kg/(veicolo*km)]
Transito dei mezzi su strade non asfaltate	7,55x10 ⁻²

Tabella 42: Emissioni stimate di PM10 per le differenti fasi di cantiere per il transito dei mezzi su strade non asfaltate

Anni	Materiale e destinazione	Quantitativi movimentati [t]	N. di viaggi a/r	Emissioni PM ₁₀ [kg]
2018 - 19	Movimentazione detriti da demolizioni	34'826	3'483	131,8
	Movimentazione terre da scavo	540'456	54'046	2'045,9
	Movimentazioni materiali da costruzione	289'591	38'612	1'461,6
2019 - 23	Movimentazione detriti da demolizioni	663'164	66'316	2'510,4
	Movimentazione terre da scavo	1'287'410	128'741	4'873,4
	Movimentazioni materiali da costruzione	711'805	94'907	3'592,7
2022 - 26	Movimentazione detriti da demolizioni	454'397	45'440	1'720,1
	Movimentazione terre da scavo	946'234	94'623	3'581,9
	Movimentazioni materiali da costruzione	797'788	106'372	4'026,7
2025 - 29	Movimentazione detriti da demolizioni	112'978	11'298	427,7
	Movimentazione terre da scavo	482'856	48'286	1827,8
	Movimentazioni materiali da costruzione	263'456	35'127	1'329,7

6.4.8. Distribuzione temporale delle emissioni

Le emissioni calcolate nei paragrafi precedenti sono relative ad attività di cantiere discontinue nel tempo. Com'è facile intuire le operazioni di demolizione saranno precedenti alle fasi di costruzione ma è anche vero che sarà possibile pianificare alcune operazioni di scavo contemporaneamente in diverse aree, vista anche l'estensione delle aree di progetto.

Per poter valutare cautelativamente l'impatto della fase di cantiere si è ipotizzato che le operazioni di demolizione e scavo avvengano contemporaneamente il primo anno di ogni fase di progetto e che la costruzione degli edifici sia concentrata negli anni successivi. Si consideri che anche questa assunzione è estremamente cautelativa.

Nella figura successiva sono sintetizzate le emissioni totali annue stimate per ogni fase di cantiere.

Emissioni PM10 [Kg/anno]		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
2018-19	Demolizioni + Movimentazione detriti	356.5											
	Scavi + Movimentazione terre	2875.8											
	Camion per materiali cantiere		1461.6										
2019-23	Demolizioni + Movimentazione detriti		6788.6										
	Scavi + Movimentazione terre		7610.6										
	Camion per materiali cantiere			898.2	898.2	898.2	898.2						
2022-26	Demolizioni + Movimentazione detriti					4651.5							
	Scavi + Movimentazione terre					6017.7							
	Camion per materiali cantiere						1006.7	1006.7	1006.7	1006.7			
2025-29	Demolizioni + Movimentazione detriti								1156.5				
	Scavi + Movimentazione terre								2962.3				
	Camion per materiali cantiere									332.4	332.4	332.4	332.4
TOTALE PM ₁₀ [kg/anno]		3232.3	15860.8	898.2	898.2	11567.4	1904.8	1006.7	5125.5	1339.1	332.4	332.4	332.4

Figura 50: Emissioni annuali di PM₁₀ ipotizzando che le operazioni di demolizione e scavo (e le relative movimentazioni) si svolgano contemporaneamente il primo anno di ogni fase

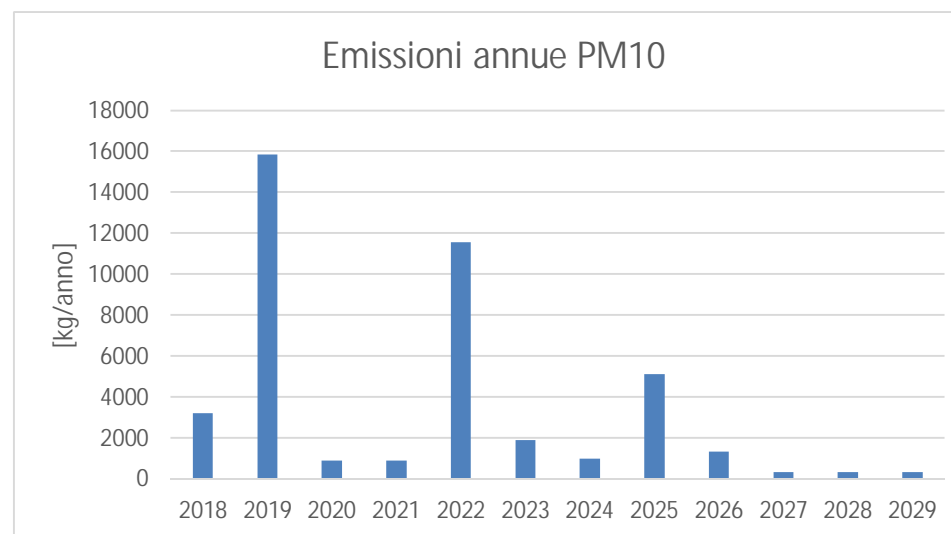


Figura 51: Emissioni annuali di PM₁₀ previste nel periodo di cantiere

Come evidenziato nelle figure precedenti le emissioni variano anche notevolmente da anno a anno e sono concentrate nei periodi di demolizione e scavo. Per poter garantire quindi la simulazione del caso peggiore è stato simulato l'anno 2019, l'anno emissivo più "gravoso" in cui si sommano:

- o le emissioni dovute al passaggio dei camion su strade non asfaltate per il trasporto dei materiali da cantiere (2018 - 19);
- o le emissioni dovute alle demolizioni degli edifici (2019 - 23);
- o il passaggio dei camion su strade non asfaltate per il trasporto del materiale derivante dalle operazioni di demolizione (2019 - 23);
- o le emissioni dovute allo scotico, allo scavo e alle perforazioni (2019 - 23);
- o il passaggio dei camion su strade non asfaltate per il trasporto del materiale derivante dalle operazioni di scavo (2019 - 23).

Nella tabella seguente è indicato il rateo emissivo totale in [g/s] utilizzato in input al modello, calcolato considerando 10 ore al giorno di lavoro per 328 giorni di cantiere annui.

Tabella 43: Rateo emissivo simulato

Parametro	Anno	Emissioni [g/s]
Rateo emissivo totale di PM ₁₀	2019	1,34

Cautelativamente le attività di cantiere sono state simulate per un totale di 365 giorni continuativi dalle ore 8 alle ore 18 (3'650 ore simulate rispetto a 3'280 ore reali di cantiere annue).

6.4.9. Distribuzione spaziale delle emissioni

Per caratterizzare al meglio la distribuzione spaziale delle emissioni relative all'anno 2019, considerato il più gravoso in termini emissivi, si è deciso di distribuire spazialmente le emissioni in funzione della localizzazione delle sorgenti. Le sorgenti considerate sono:

- o gli edifici da realizzare: dove sono state distribuite proporzionalmente al volume degli stessi le emissioni dovute al passaggio dei camion su strade non asfaltate per il trasporto dei materiali da cantiere;



Figura 52: Distribuzione spaziale emissioni: Edifici da realizzare (2018-2019)

- o gli edifici da demolire: in cui sono state distribuite proporzionalmente al volume degli stessi le emissioni dovute alle demolizioni e alla movimentazione degli inerti (carico dei camion e passaggio su strade non asfaltate);



Figura 53: Distribuzione spaziale emissioni: Edifici da demolire (2019-2023)

- o gli edifici da realizzare: in cui sono state distribuite proporzionalmente al volume degli stessi le emissioni dovute agli scavi, perforazioni e movimentazioni delle terre (carico e scarico dei camion e passaggio su strade non asfaltate);



Figura 54: Distribuzione spaziale emissioni: Edifici da realizzare (2019-2023)

- o le superfici delle aree infrastrutturali (aree pavimentate, aree verdi e aree dei canali) in cui sono state distribuite proporzionalmente alle volumetrie coinvolte le emissioni dovute allo scotico e allo scavo dei terreni.



Figura 55: Distribuzione spaziale emissioni: Aree infrastrutturali (2019-2023)

6.5. Stima impatto sulla qualità dell'aria

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni effettuate mediante il modello CALPUFF per gli scenari considerati.

Per un confronto con i limiti normativi di qualità dell'aria, le concentrazioni di NO₂ sono state stimate a partire dalle concentrazioni rispettivamente di NO_x ottenute dal modello.

La capacità dell'atmosfera di trasformare gli NO_x in NO₂ è limitata dalla disponibilità di ossidanti in atmosfera ed è soggetta ad un effetto di saturazione al crescere delle concentrazioni di ossidi di azoto, pertanto il rapporto tra NO₂ e NO_x decresce all'aumentare delle concentrazioni di NO_x (si veda ad esempio la sezione del sito dell'EPA che descrive questo rapporto³).

Le concentrazioni di NO_x stimate dal modello CALPUFF sono state trasformate in concentrazioni di NO₂, secondo la funzione di potenza di seguito riportata:

$$NO_2 = a * (NO_x)^b$$

dove a e b sono coefficienti determinati empiricamente.

In Figura 56 è riportata la relazione esistente tra NO_x e NO₂ stimata sulla base dei rilevamenti orari effettuati nell'anno 2017 (anno di riferimento per le simulazioni) in corrispondenza della stazione di Pero, centralina di qualità dell'aria più prossima all'area in esame (Figura 6) e di tipologia traffico.

³ https://www3.epa.gov/scram001/no2_isr_database.htm

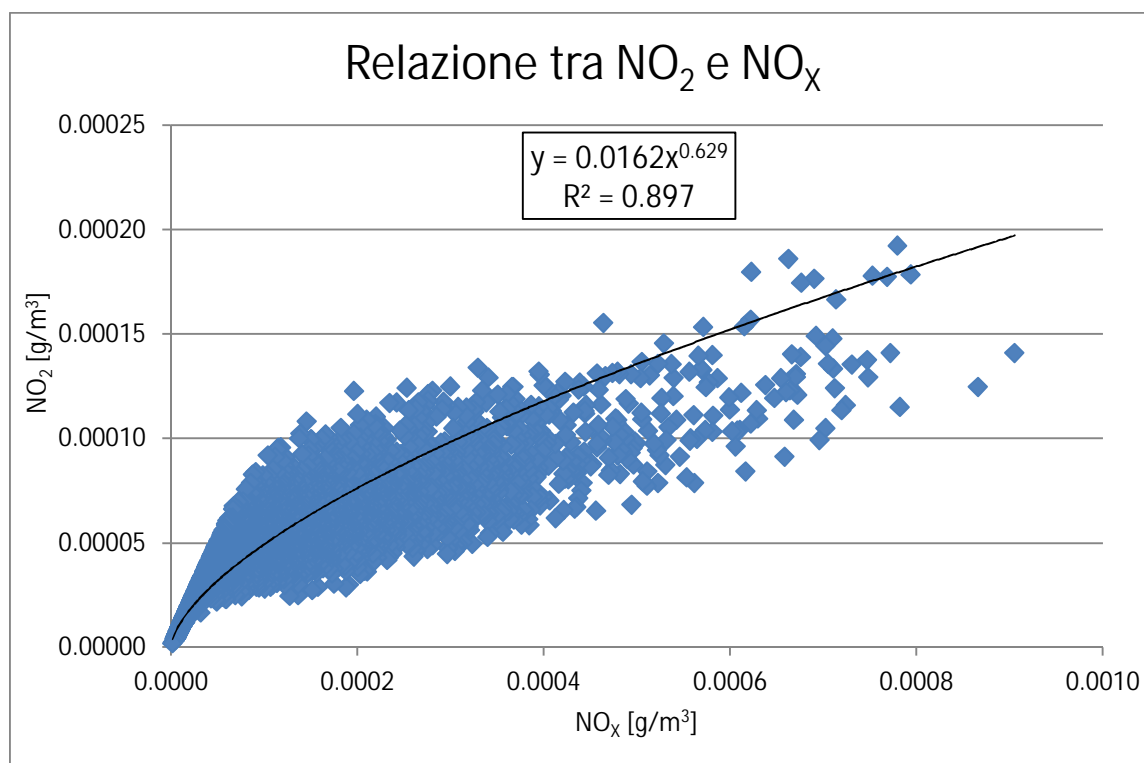


Figura 56: Relazione tra NO_x e NO₂, ricavata sulla base delle misure orarie della stazione di Pero (2017)

La curva descrive bene il legame tra i 2 inquinanti (R^2 pari all'89,7%) ed inoltre tale approccio è conservativo per i valori più elevati di NO_x, ovvero quelli più critici.

I risultati delle simulazioni effettuate con il modello CALPUFF sono riassunti mediante mappe di isoconcentrazione che illustrano i risultati mediati sui periodi temporali previsti dal D.Lgs. 155/2010, al fine di verificare l'impatto dei diversi inquinanti rispetto ai limiti di qualità dell'aria vigenti (Capitolo 4). Per alcuni degli inquinanti considerati (NO₂, PM₁₀) la normativa di riferimento fissa il numero di volte che la concentrazione limite può essere superata in un anno; i risultati prodotti rappresentano quindi il corrispondente percentile della concentrazione massima (nell'intervallo temporale fissato). I valori annuali sono invece mediati sull'anno completo.

Sono di seguito riportate massime concentrazioni ottenute nelle simulazioni modellistiche per tutti gli scenari considerati.

Tabella 44: Valori massimi di ricaduta ottenuti dal modello di dispersione CALPUFF

Inquinante	PM ₁₀		NO ₂		CO	COV
Periodo di mediazione	Media annua	Perc. giornaliero	Media annua	Perc. orario	Media mobile su 8 ore	Media annua
U.d.M.	[µg/m³]					
Limite di legge	40	50	40	200	10'000	5 (C ₆ H ₆)
Ante operam (2017)	5,6	10,1	41,5	192	402	3,7
Cantiere (2019)	5,1 (10,5 interno al cantiere)	10,3 (19,0 interno al cantiere)	-	-	-	-
Post operam (2029)	5,8	10,4	41,7	198	447	3,8
Variazione percentuale Post - Ante operam	3%	3%	0,5%	3%	11%	4%

Dalla Tabella 44 si evince che per tutti gli scenari, i valori di concentrazione degli inquinanti risultano al di sotto dei limiti di legge, ad eccezione della media annua di NO₂ che però supera il limite di qualità dell'aria già nello scenario attuale (in linea con quanto rilevato dalle centraline ARPA più prossime). Le differenze percentuali tra Ante e Post operam risultano molto contenute, in particolare per le polveri e per il biossido di azoto che sono gli inquinanti più critici.

In relazione agli ossidi di azoto, al monossido di carbonio e al benzene si può osservare che i valori rilevati nelle centraline di monitoraggio ARPA adiacenti all'area in esame risultino in linea con i valori ottenuti dal modello: questo è dovuto al fatto che si tratta di inquinanti primari, con i recettori posti a soli 10 metri dalla fonte emissiva più importante. Viceversa per le polveri le concentrazioni stimate sono decisamente inferiori a quelle monitorate per via dell'importante contributo del particolato secondario.

Nel caso del PM₁₀, in aggiunta alle concentrazioni legate alle emissioni da traffico simulate dal modello, è stato considerato il fondo regionale stimato attraverso le concentrazioni medie annue di PM₁₀ rilevate dalla centralina di fondo suburbano più vicina al sito. In particolare nella Tabella 8 sono state riportate le concentrazioni medie annue di PM₁₀ della centralina di Saranno V. Santuario dalle quali risulta che la media annua dell'ultimo triennio è pari a 32,7 µg/m³. Sommando tale valore di fondo alle concentrazioni massime riscontrate in ciascuno degli scenari considerati (5,6 µg/m³ nello scenario Ante operam, 5,1 µg/m³ nella fase di cantiere e 5,8 µg/m³ nello scenario Post operam) si ottengono concentrazioni al di sotto del limite di legge (che è pari a 40 µg/m³).

In Tabella 45 sono elencate le mappe di isoconcentrazione, e le corrispondenti tavole, allegate al presente studio. Nella successiva Tabella 46 sono riportate le concentrazioni stimate dal modello presso i recettori sensibili più vicini.

Tabella 45: Elenco delle tavole allegate

Scenario	N° tavola	Inquinante	Periodo di mediazione
Ante operam	1	PM ₁₀	Media annua
	2		Percentile giornaliero
	3	NO ₂	Media annua
	4		Percentile orario
	5	CO	Massimo giornaliero della media mobile calcolata su 8 ore
	6	COV	Media annua
Cantiere	7	PM ₁₀	Media annua
	8		Percentile giornaliero
Post operam	9	PM ₁₀	Media annua
	10		Percentile giornaliero
	11	NO ₂	Media annua
	12		Percentile orario
	13	CO	Massimo giornaliero della media mobile calcolata su 8 ore
	14	COV	Media annua

Tabella 46: Concentrazioni presso i recettori sensibili più vicini all'AREA MIND per gli scenari Ante e Post operam

Recettori sensibili	Inquinante	PM ₁₀		NO ₂		CO	COV
	Periodo di mediazione	Media annua	Perc. giornaliero	Media annua	Perc. orario	Media mobile su 8 ore	Media annua
	U.d.M.	[µg/m³]					
Limite di legge		40	50	40	200	10'000	5 (C ₆ H ₆)
Id 1 Abitazione	Ante operam (2017)	2,6	5,2	23,3	130	352	1,7
	Post operam (2029)	3,2	6,4	26,4	140	407	2,2
	Variazione %	27%	23%	13%	8%	16%	33%
Id 2 Pulcini & Co.	Ante operam (2017)	4,2	8,3	33,2	175	350	2,8
	Post operam (2029)	4,4	8,7	33,1	183	392	2,9
	Variazione %	4%	5%	0%	5%	12%	5%
Id 3 Abitazione	Ante operam (2017)	2,8	5,5	23,7	145	260	1,8
	Post operam (2029)	3,3	6,7	25,8	155	307	2,3
	Variazione %	21%	21%	9%	7%	18%	24%
Id 4 Abitazione	Ante operam (2017)	1,7	3,9	16,4	135	290	1,1
	Post operam (2029)	2,0	4,5	17,8	143	331	1,3
	Variazione %	18%	18%	9%	6%	14%	17%
Id 5 Abitazione	Ante operam (2017)	1,8	3,8	16,3	127	191	1,2
	Post operam (2029)	2,2	4,7	17,7	139	228	1,5
	Variazione %	23%	22%	9%	9%	19%	28%
Id 6 Abitazione	Ante operam (2017)	2,1	4,5	18,4	134	211	1,5
	Post operam (2029)	2,5	5,2	19,3	146	257	1,7
	Variazione %	17%	16%	5%	9%	22%	19%
Id 7 Ospedale Sacco	Ante operam (2017)	2,4	5,1	19,6	155	266	1,6
	Post operam (2029)	2,8	5,8	20,5	164	313	1,9
	Variazione %	13%	14%	5%	6%	18%	16%
Id 8 Nido Famiglia L'impronta	Ante operam (2017)	2,1	4,3	19,1	124	192	1,4
	Post operam (2029)	2,6	5,2	21,4	136	232	1,7
	Variazione %	26%	23%	12%	10%	21%	27%
Id 9 Istituto Comprensivo "Gianni Rodari"	Ante operam (2017)	1,7	3,7	15,9	120	177	1,2
	Post operam (2029)	2,0	4,4	16,7	129	213	1,4
	Variazione %	16%	19%	5%	8%	20%	18%

Dalle tavole appare che per i 2 scenari di traffico le concentrazioni inquinanti maggiori si riscontrano nelle immediate vicinanze dell'autostrada e tra la tangenziale ed i suoi svincoli, in aree non solo non urbanizzate ma anche interdette all'accesso delle persone; inoltre le concentrazioni presso i recettori sensibili risultano entro i limiti di qualità dell'aria.

Si evidenzia infine che i risultati sono stati ottenuti sotto ipotesi cautelative e conservative in particolare:

- o non è stata considerata né la deposizione secca né la deposizione umida dagli inquinanti;
- o sono stati adottati i fattori emissivi di INEMAR più recenti, relativi al parco veicolare del 2014, sia nello scenario Ante che Post operam.

Quando il progetto MIND sarà ultimato (2029) le emissioni di inquinanti dovute al traffico veicolare saranno certamente inferiori rispetto a quelle indicate da INEMAR in quanto il parco auto risulterà rinnovato.

Per valutare il trend di evoluzione delle emissioni è possibile analizzare il database europeo GAINS (Greenhouse Gas - Air Pollution Interactions and Synergies) gestito dallo IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) con dettaglio nazionale ed adottato da ENEA come strumento di riferimento nell'ambito del tavolo Ministero-Regioni, e risulta il riferimento metodologico che consente la messa a punto di scenari futuri regionali in un contesto coerente, assumendo una serie di ipotesi (economiche, di evoluzione delle normative e delle strategie di controllo progressivamente applicate), sulla base delle quali possono essere ricavati dei trend emissivi regionali per i principali inquinanti atmosferici e gas serra: ammoniaca (NH_3), anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), ossidi di azoto (NO_x), protossido di azoto (N_2O), particolato (PTS, PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$), biossido di zolfo (SO_2) e Composti Organici Volatili (VOC).

Le immagini seguenti mostrano i trend dei fattori emissivi delle principali categorie veicolari dello Scenario Energetico Nazionale definito per l'anno 2014 (SEN 2014). Com'è possibile notare tutti i fattori di emissione sono previsti con andamenti decrescenti, nel grafico sono in particolare evidenziati l'anno 2014, utilizzato nella simulazione attraverso le stime di INEMAR, l'anno di riferimento dell'Ante operam (2017) e quello del Post operam (2029). Rispetto al 2014 gli scenari rilevano riduzioni percentuali, rispetto al 2014, comprese tra il 3% e il 26% all'anno 2017 e riduzioni comprese tra il 12% e il 69% all'anno 2029.

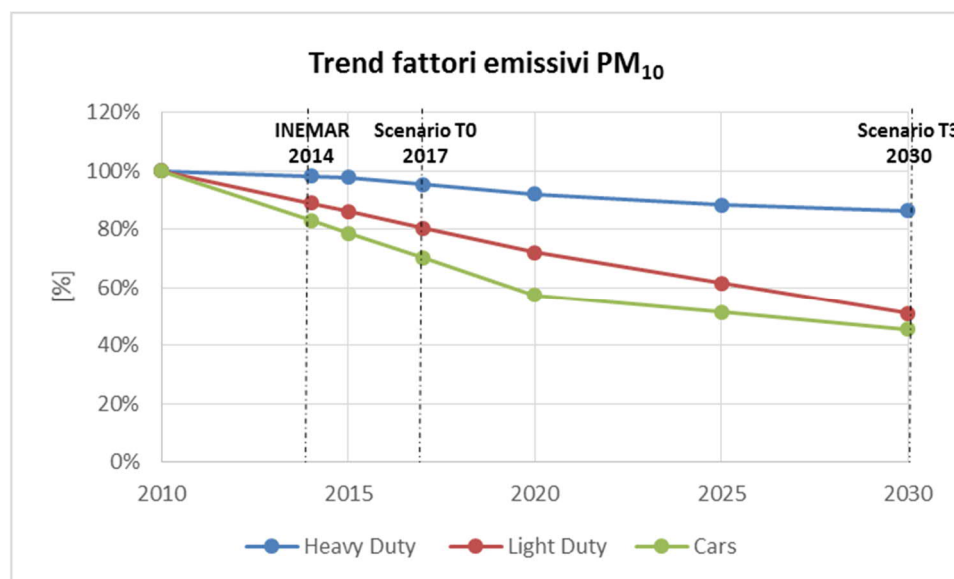


Figura 57: Trend dei fattori di emissione di PM_{10} - Scenario SEN2014 (GAINS)

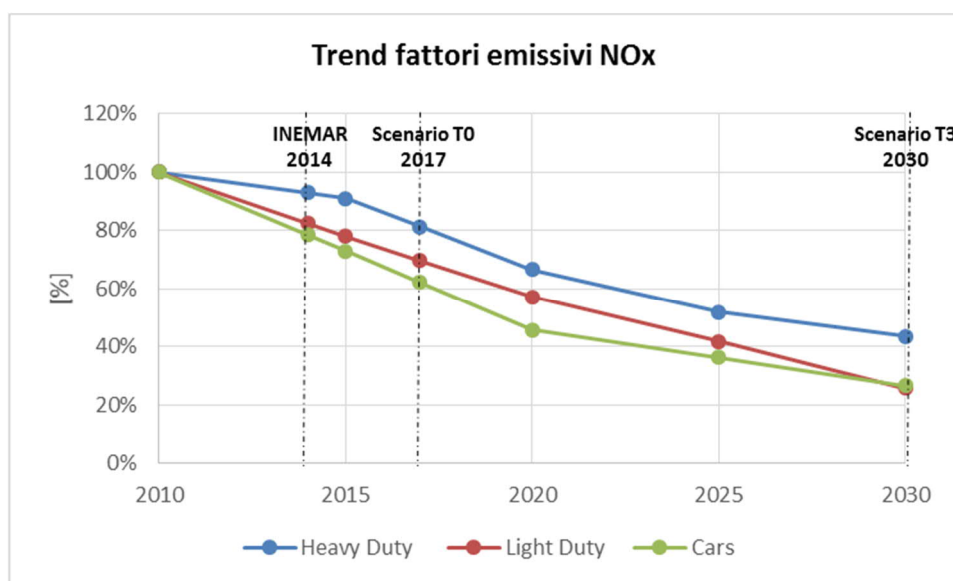


Figura 58: Trend dei fattori di emissione di NO_x - Scenario SEN2014 (GAINS)

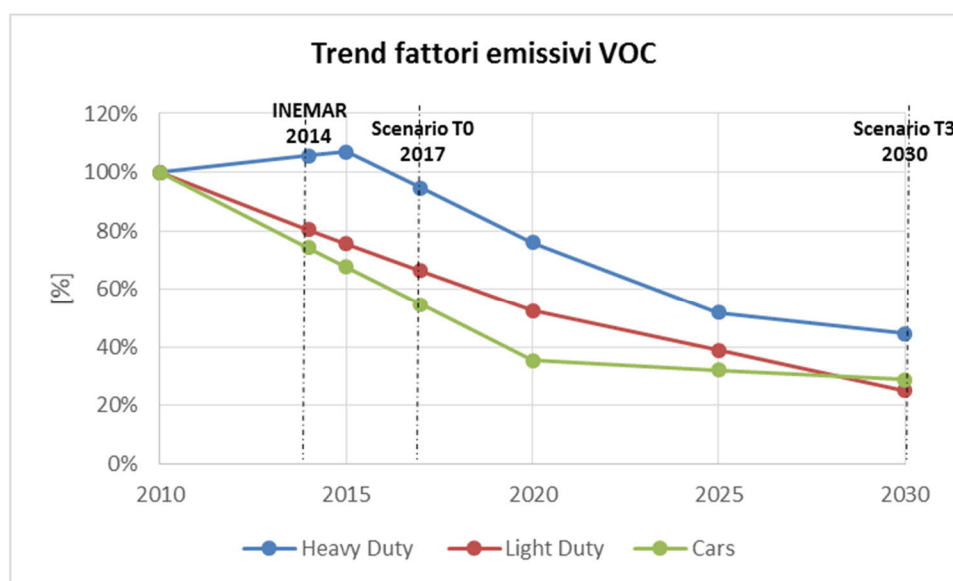


Figura 59: Trend dei fattori di emissione di VOC - Scenario SEN2014 (GAINS)

Per quanto riguarda la fase di cantiere, le concentrazioni massime si rilevano entro il perimetro del cantiere stesso; il punto esterno al cantiere più critico, si trova ad est (in un'area classificata dal DUSAF di Regione Lombardia come di Insediamenti industriali, artigianali e commerciali – si veda la Figura 60) ed ha una media annua di 5,1 µg/m³ ed un percentile giornaliero di 10,3 µg/m³.

Le concentrazioni presso i recettori sensibili, che distano solo poche centinaia di metri dal perimetro di cantiere, hanno un impatto trascurabile (Tabella 47).

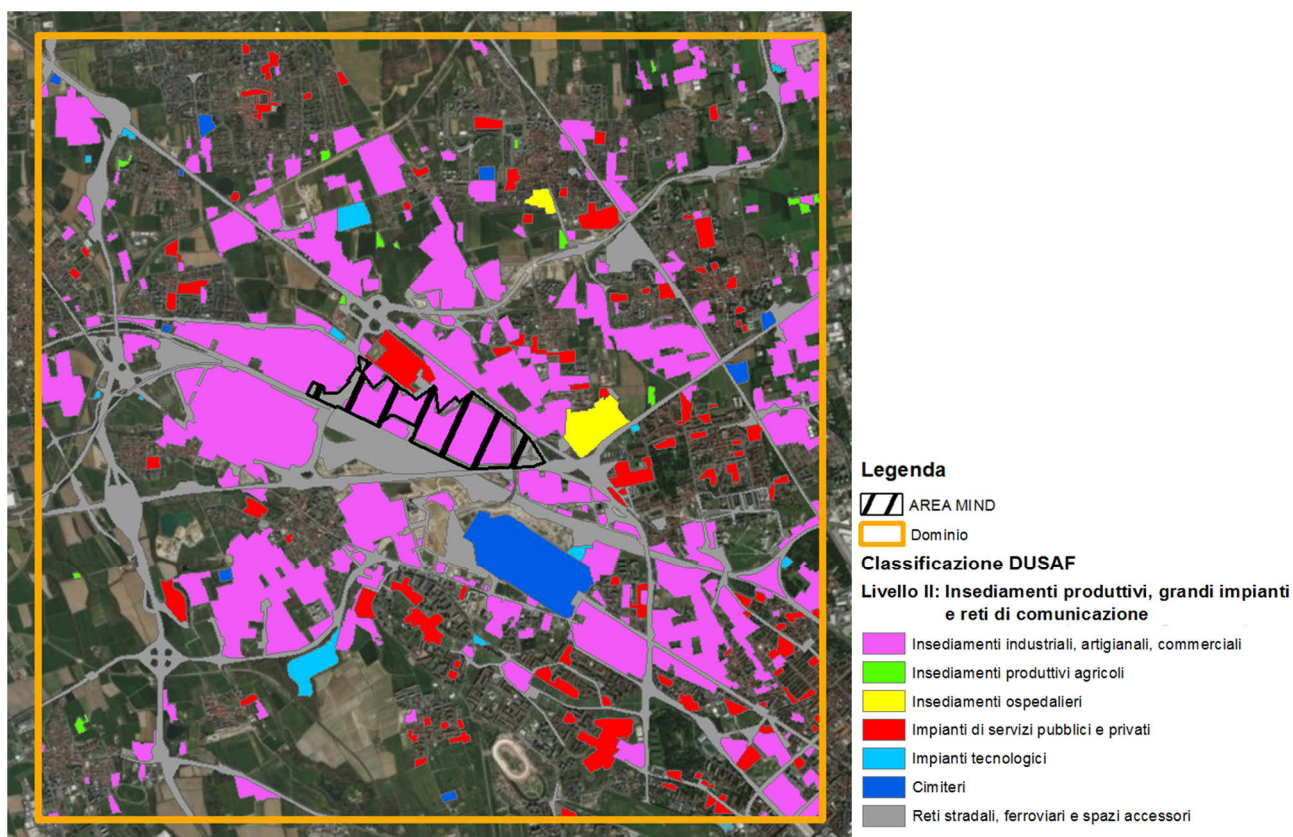


Figura 60: Dettaglio massimo del DUSAF 2015 per l'uso di suolo caratterizzato dal codice 12 ("Insediamenti produttivi, grandi impianti e reti di comunicazione")

Tabella 47: Concentrazioni presso i recettori sensibili più vicini all'AREA MIND nella fase di cantiere

Recettori sensibili	Inquinante	PM ₁₀	
	Periodo di mediazione	Media annua	Perc. giornaliero
	U.d.M.	[µg/m ³]	
Limite di legge		40	50
Id 1	Fase di cantiere (2019)	1,5	4,2
Id 2		0,2	0,6
Id 3		1,3	3,4
Id 4		0,4	0,9
Id 5		1,4	3,5
Id 6		1,1	3,6
Id 7		0,4	1,1
Id 8		1,1	2,9
Id 9		1,1	3,1

7. Conclusioni

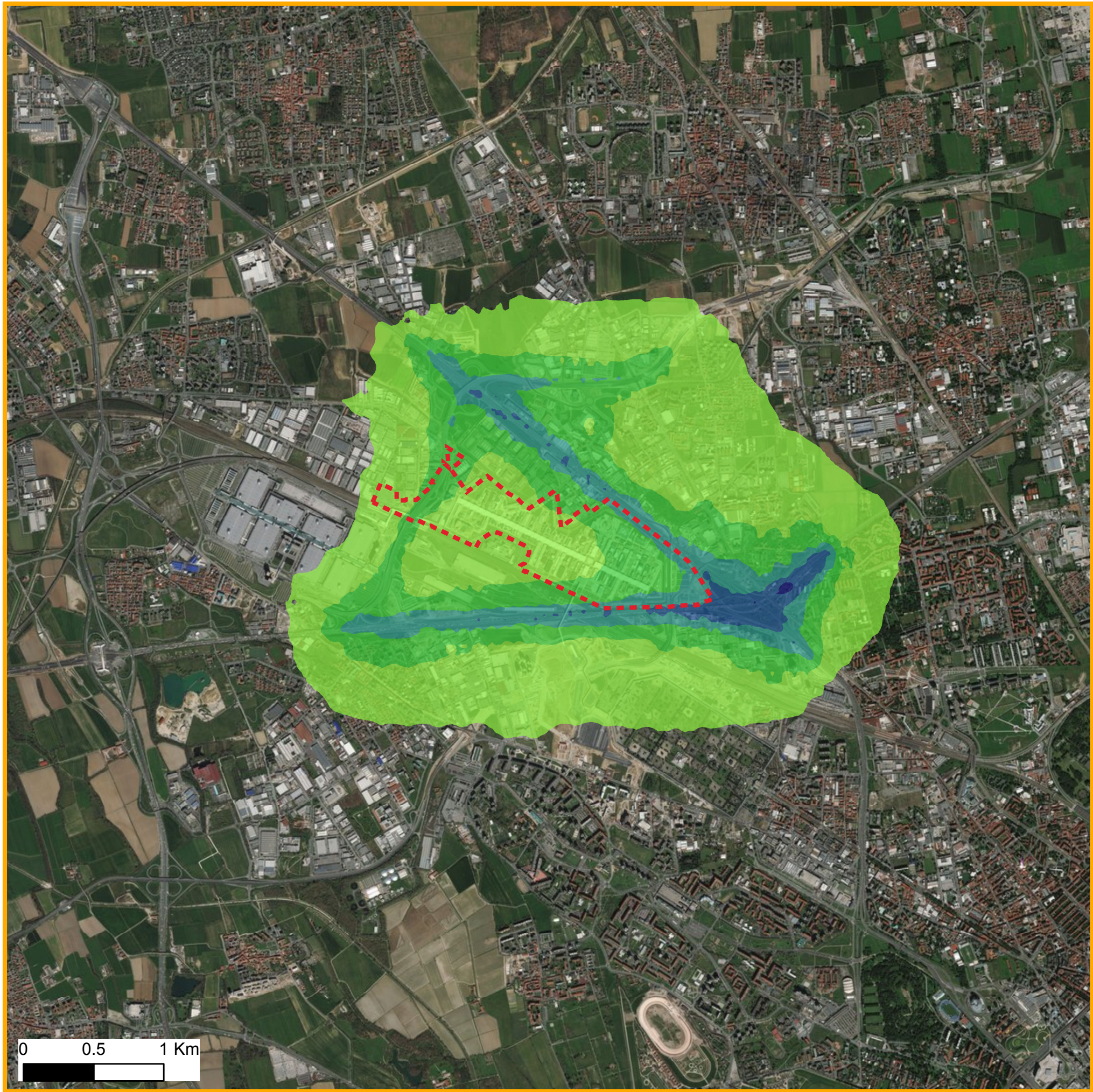
In questo studio a partire dagli output del modello del traffico (caratteristiche geometriche e di flusso degli archi stradali), dalle condizioni meteorologiche fornite da ARPA Lombardia (anno 2017) e dalle caratteristiche emissive presenti all'interno dell'Inventario Emissioni Aria (INEMAR) più recente (anno 2014) sono state stimate su scala ampia, tramite la catena modellistica WRF-CALMET-CALPUFF, le concentrazioni degli inquinanti presso i recettori posizionati attorno alla rete viaria potenzialmente interferita dalla realizzazione del progetto MIND.

Per entrambi gli scenari considerati i valori di concentrazione degli inquinanti risultano al di sotto dei limiti di legge, ad eccezione di un leggero superamento per la media annua dell'NO₂ sia nello scenario Ante operam che in quello Post operam (in linea con quanto rilevato dalle centraline ARPA più prossime). Dalle tavole allegate allo studio si rileva che per i 2 scenari di traffico le concentrazioni inquinanti maggiori si riscontrano nelle immediate vicinanze dell'autostrada e tra la tangenziale ed i suoi svincoli, in aree non solo non urbanizzate ma anche interdette all'accesso delle persone.

Le simulazioni sono state effettuate con ipotesi cautelative e conservative, ad esempio si è considerato il medesimo parco veicolare per entrambi gli scenari di simulazione (aggiornato al 2014, ultima pubblicazione inventario INEMAR). Nel 2029, anno di ultimazione del progetto MIND il parco circolante sarà quasi completamente rinnovato rispetto a quello considerato con riduzioni attese fino al 70% [Elaborazioni del database europeo GAINS (Greenhouse Gas - Air Pollution Interactions and Synergies) gestito dallo IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) e adottato da ENEA come strumento di riferimento nell'ambito del tavolo Ministero-Regioni].

Per definire al meglio l'impatto della fase di realizzazione dell'opera sono state stimate le emissioni di polveri per tutti gli anni di durata del cantiere, utilizzando le metodologie AP-42 proposte dall'Environment Protection Agency (EPA) e le indicazioni contenute nelle "Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti" rilasciate dalla Provincia di Firenze in collaborazione con ARPA Toscana. Si è poi eseguita una simulazione modellistica per l'anno più critico (il 2019), anche in questo caso l'impatto risulta limitato e localizzato all'interno del perimetro di cantiere ed in aree immediatamente limitrofe allo stesso con impatti trascurabili presso i recettori sensibili.

TAVOLE

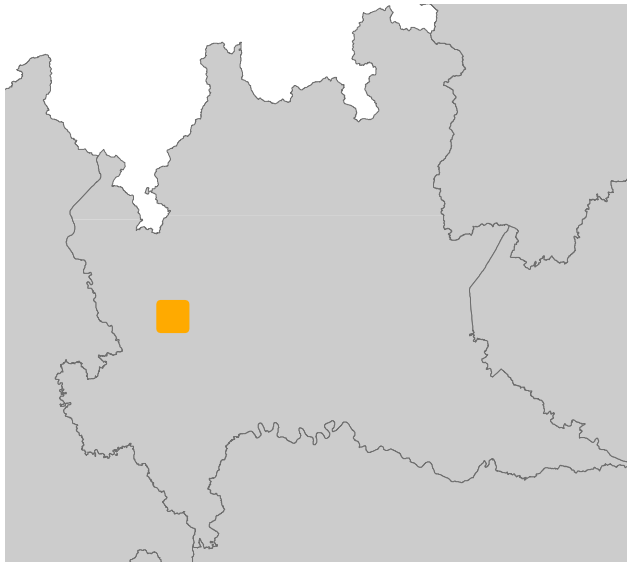


Legenda

- Area MIND
- Dominio di simulazione

Ricadute ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- < 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- 3.0 - 4.0
- 4.0 - 5.0
- 5.0 - 5.6



Proponente: **Arexpo S.p.A.**

MIND - Progetto di rigenerazione per uno sviluppo urbano sostenibile
Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

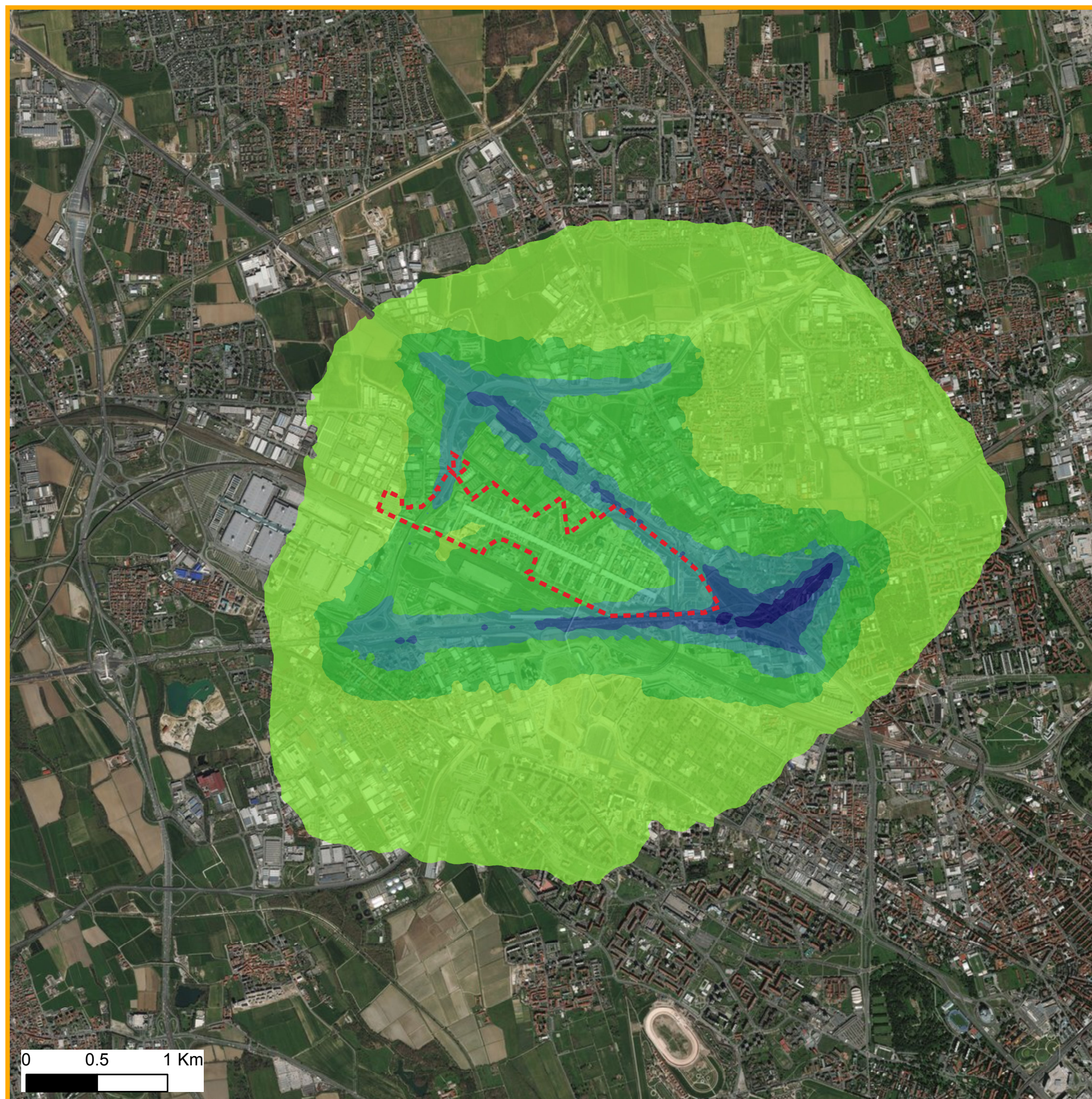
Inquinante: **PM₁₀** Valore limite: **40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Periodo di mediazione:
Anno Scenario:
Ante Operam


Tavola_01

_Novembre 2018

Progetto MIND



Legenda

 Area MIND

 Dominio di simulazione

Ricadute ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

 < 1.7

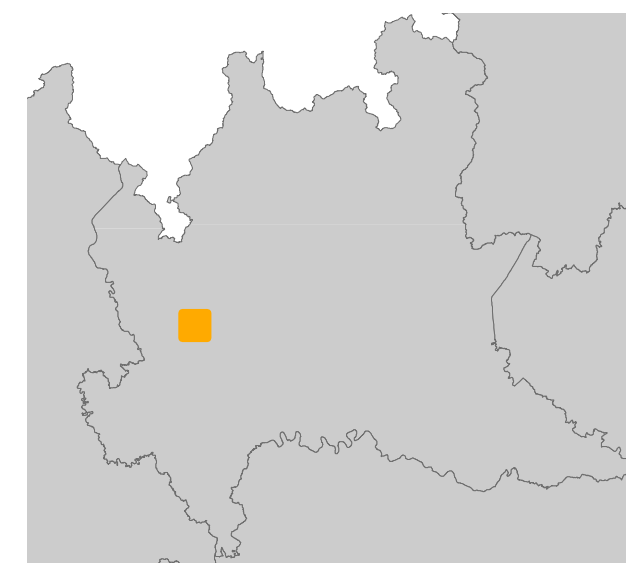
 1.7 - 3.4

 3.4 - 5.1

 5.1 - 6.8

 6.8 - 8.5

 8.5 - 10.1



Proponente: **Arexpo S.p.A.**

MIND - Progetto di rigenerazione per uno sviluppo urbano sostenibile

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **PM₁₀**

Valore limite: **50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Periodo di mediazione:
Giorno

Scenario:
Ante Operam

Tavola_02

_Novembre 2018

Progetto MIND