

COMMITTENTE:



AEROPORTO "VALERIO CATULLO" DI VERONA - VILLAFRANCA

Società di gestione:
Aeroporto Valerio Catullo di Verona Villafranca S.p.a

Post Holder Area Movimento:
Cristiano Folchi

Accountable Manager:
ing. Corrado Fischer

Post Holder Terminal:
Pierluigi Saiu

Post Holder Progettazione Infrastrutture e Sistemi:
ing. Michele Adami

Direttore Operativo:
ing. Riccardo Vergerio

Post Holder Manutenzione Infrastrutture e Sistemi:
ing. Alberto Carli

Resp. Ambiente e Sicurezza:
dott.ssa Antonella Redolfi

PROGETTO:

AEROPORTO VALERIO CATULLO MASTER PLAN

ELABORATO:

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE APPROFONDIMENTI CONOSCITIVI RELATIVI ALLA COMPONENTE AMBIENTALE "ATMOSFERA" Relazione tecnica

Rev.	Descrizione	Data	Società / Redazione	Verifica	Approvazione	ELABORATO N.:
00		27.06.16	Ares			S12024/SIA.APP.ATM-RR
						SCALA: /
						NOME FILE: SIA_APPROFONDIMENTI_atmosfera_RR.pdf

PROGETTO MASTERPLAN:

ONEWORKS:

One Works:
Arch. Giulio De Carli

Via Statuto 11
20121 Milano, Italia
milano@one-works.com

ELABORAZIONE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE
GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



Via Massari, 189 / A - 10148 Torino
Tel. +39(0)112269903 Fax +39(0)112269918
Via Bozzini, 5 - 37135 Verona
Tel./Fax +39(0)45502852
e-mail: ares@ares.to.it

COORDINAMENTO:

Ing. Marcella Rolando
(Direzione tecnica Ares s.r.l.)

COLLABORATORI:

Ing. Emanuele Borgato
Ing. Ilaria Rinaudo
Arch. Piera Gatta



IN COLLABORAZIONE CON:



Via Morghen, 5 - 10143 Torino
Tel. +39(0)117491520 Fax +39(0)117509636
e-mail: fortea@fortea.eu

Dott. For. Isabella Ballauri Del Conte
Dott. For. Alberto Morera

PREMESSA.....	1
1. FATTORI DI EMISSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO EDMS	1
1.1 Traffico Aereo	1
1.1.1 Metodologia di calcolo delle emissioni.....	1
1.1.2 Esempi di fattori di emissione per le tipologia di aeromobile	5
1.2 Grund Support Equipment (GSE)	10
1.3 APU (Auxiliary Power Unit)	13
1.4 Centrali termiche.....	16
2. STIMA DELLE EMISSIONI DI CO₂.....	18
2.1 Calcolo delle emissioni mediante modello EMDS	18
2.1.1 Metodologia di calcolo	18
2.1.2 Emissioni di CO ₂ calcolate con EDMS.....	18
2.2 Emissioni stimate dal software INEMAR.....	19
2.2.1 Metodologia di stima.....	19
2.2.2 Emissioni di CO ₂ calcolate sulla base dell'inventario INEMAR 2005.....	21
2.3 Confronto EDMS vs INEMAR	22
3. APPROFONDIMENTI RELATIVI ALLE EMISSIONI DI OSSIDI DI AZOTO.....	25
3.1 Revisione delle mappe di dispersione degli ossidi di azoto.....	25
3.1.1 Definizione del rapporto di conversione NO _x – NO ₂	25
3.1.1.1 Campagne di misura condotte in località Calzoni	25
3.1.1.2 Metodo proposto da U.S. EPA.....	25
3.1.2 Mappe di dispersione di NO ₂	29

PREMESSA

La presente relazione tecnica riporta gli approfondimenti conoscitivi relativi all'impatto ambientale sulla componente ambientale "atmosfera", nell'ambito della procedura di VIA del Masterplan dell'Aeroporto Valerio Catullo di Verona – Villafranca. In particolare, gli approfondimenti in questione sono relativi al capitolo 4.5 dello Studio di Impatto Ambientale.

1. FATTORI DI EMISSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO EDMS

Il software EDMS permette di determinare le emissioni dovute alle diverse sorgenti aeroportuali (traffico aereo, mezzi di assistenza a terra, APU, traffico stradale indotto dall'aeroporto, traffico nei parcheggi, centrali termiche). Nel seguito verranno presentate le metodologie di calcolo adottate dal software per la stima delle emissioni derivanti dalle suddette sorgenti aeroportuali, le ipotesi fatte ed i fattori di emissione del database di sistema del software necessari per il calcolo.

1.1 Traffico Aereo

1.1.1 Metodologia di calcolo delle emissioni

Nella valutazione delle emissioni del traffico aereo EDMS considera l'insieme di tutti gli LTO compiuti. Per LTO (Landing and Takeoff cycle) si intende il ciclo completo di movimenti di un aereo su uno scalo, ovvero la somma di quello di decollo e quello di atterraggio. In questo senso si può quindi concludere che il numero di LTO annuali per ciascun aereo sarà dato dalla metà dei movimenti complessivi. Inoltre, l'LTO viene ulteriormente suddiviso in quattro fasi (termine tecnico: "modes") di fondamentale importanza per il computo delle emissioni:

- takeoff;
- climb out;

- approach;
- taxi.

Con il termine takeoff o decollo si intende il movimento compiuto dall'aereo dall'istante in cui comincia a spostarsi accelerando sulla pista (runway) a quando giunge all'altezza di 100 ft.

Per climb out si intende, invece, una procedura che si svolge completamente in atmosfera. In questo modo l'aereo viene guidato sino a raggiungere l'altezza media dello strato di rimescolamento (mixing height) e, trovandosi ormai lontano dall'aeroporto da cui è decollato, può seguire la rotta di crociera. Il climb out è allora terminato.

Approach è la fase di atterraggio del velivolo sulla runway e, come il takeoff, è una fase che in parte si svolge in atmosfera, in parte a terra. Nel presente studio l'altezza di rimescolamento è stata posta pari a 3000 ft (914,4 m): si tratta del valore impostato di default (in automatico) da EDMS; il passaggio dai 3000 ft, viene considerato oltre che altezza media dello strato di rimescolamento al suolo (mixing height) anche altezza di crociera.

La fase di taxi rappresenta pertanto il movimento dell'aereo a terra dall'uscita della runway alla sua destinazione finale (gate) più il movimento opposto, ovvero dal gate al punto di decollo. Tale percorso (taxiway) può essere diverso per uno stesso tipo di velivolo a seconda del punto in cui deve recarsi o a seconda del traffico. Durante questi spostamenti il velivolo può tuttavia essere soggetto a code (queues) oppure può rimanere fermo al gate, per motivi di sicurezza, traffico o altro con i motori accesi (idle). Di ciò si dovrà tenere conto per il computo delle emissioni complessive. Tutte le possibili taxiway (bretelle di raccordo, vie di rullaggio) sono fisicamente tracciate sul piazzale dell'aerostazione e sono state fornite come dato in input al software EDMS. La figura 2.1 schematizza le quattro fasi dell'LTO.

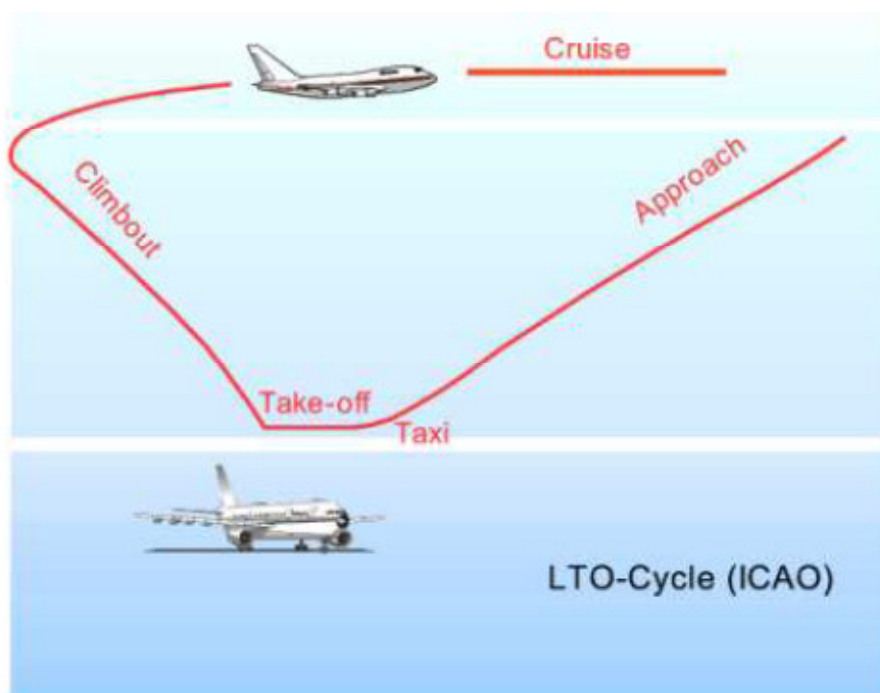


Figura 2.1 – Schema che illustra le quattro fasi del ciclo LTO

Per ciascun modello di aereo è definito a priori il tempo necessario per il completamento di ciascuna fase del ciclo LTO; tali tempi in linguaggio tecnico prendono il nome di “aircraft times in mode”.

In particolare i times in mode per il takeoff, climb out e approach sono definiti dalle caratteristiche stesse dell’aereo quali il numero dei motori, la spinta sviluppata, il carico massimo al decollo e così via. Essi sono stati quindi accuratamente misurati e resi disponibili dall’ ICAO, International Civil Aviation Organization.

Tipi e modelli di motore diversi possono portare a times in mode ed emissioni molto diversi tra loro e di ciò si è tenuto conto nel presente studio.

Il quarto time in mode (taxi) invece non dipende dalle caratteristiche dell’aereo, ma da quelle dell’aeroporto. Il software permette di servirsi dell’opzione “sequence modeling” (che è possibile impostare nella finestra delle proprietà dello scenario), in questo modo EDMS è in grado di determinare i tempi della fase di taxi sulla base delle caratteristiche ed, in particolare, della lunghezza dei percorsi degli aeromobili a terra (taxiway). L’utilizzo dell’opzione sequence modeling presuppone la definizione di gates (piazze di sosta aeromobili), taxiways (bretelle di raccordo, vie di rullaggio), runways (piste di atterraggio decollo), taxipaths (percorsi seguiti dagli aeromobili per l’accesso o l’uscita dalla pista) dell’aeroporto. Pertanto, sono stati forniti in input al software i dati relativi all’esatta

ubicazione e configurazione dei suddetti elementi, in modo da permettere una stima il più possibile realistica dei tempi di taxi e, di conseguenza, delle emissioni. Si sottolinea che l'impiego dell'opzione "sequence modeling" è necessaria per la valutazione della dispersione degli inquinanti. Per il computo delle emissioni il software EDMS somma tra loro il tempo necessario affinché la taxi sia percorsa, il tempo medio di permanenza in coda e quello di attesa.

Ogni motore è poi caratterizzato da una certa portata di carburante consumata variabile a seconda della fase in cui l'aereo si trova. Tali valori sono tabulati e pubblicati dall'ICAO.

Il calcolo delle emissioni è eseguito sulla base della seguente equazione:

$$E_{ij} = \sum_k (TIM_{jk} * FF_{jk} * EI_{ijk} * NE_j)$$

dove:

- E_{ij} è la quantità totale di inquinante i emesso dal velivolo di tipo j in 1 LTO
- TIM_{jk} è il time in mode per la fase k (takeoff, climb out, approach o taxi/idle/queue) per il velivolo di tipo j
- FF_{jk} è il flusso di carburante per il velivolo di tipo j nella fase k
- EI_{ijk} è il fattore di emissione per l'inquinante i nella fase k per il velivolo tipo j
- NE_j è il numero di motori che equipaggiano il velivolo j .

I suddetti dati sono definiti per ciascuna tipologia di aereo e contenuti nei database del software EDMS.

L'emissione totale di inquinante i su base annuale per tutti i velivoli si calcola nel modo seguente:

$$E_i = \sum_j (E_{ij} * N_j)$$

dove:

- E_i è l'emissione totale di inquinante i su base annuale
- N_j è il numero di LTO all'anno per il velivolo j

Nel caso in esame sono stati messi a disposizione i dati relativi al numero totale di movimenti anno per ciascuna tipologia di aereo (NM_j) dall'autorità aeroportuale. Pertanto, è possibile calcolare il numero totale di LTO compiuti da un certo tipo di velivolo in un anno come da equazione:

$$N_j = NM_j/2$$

E' bene sottolineare che quanto sin qui asserito vale ovviamente fintanto che la mixing height media rimane fissata ai 3000 ft: qualora tale valore dovesse variare, cambierebbe l'altezza a cui termina il climb out ed ha inizio l'approach e quindi varierebbero i times in mode e le corrispondenti emissioni.

Infine, il software EDMS consente una più esatta definizione dei times in mode: invece di far riferimento al database ICAO/EPA, è possibile servirsi dell'opzione "Performance based" (da impostare nelle proprietà dello scenario) che permette di tener conto del profilo di volo e, quindi, del tipo di motore dell'aereo, del peso, della quota e dei dati meteorologici nella definizione dei times in mode. E' possibile modificare manualmente i valori dei times in mode "personalizzando" una tipologia di aereo contenuta nel database di EDMS o assegnando un profilo di volo scegliendo nel database di EDMS la stessa tipologia di aereo utilizzata nell'aeroporto oggetto dello studio. Nel caso in esame si è scelta questa seconda possibilità.

1.1.2 Esempi di fattori di emissione per le tipologie di aeromobile

Si sono individuate le tipologie di aeromobile caratterizzate dal maggior numero di movimenti presso l'aeroporto in esame, per le quali è possibile determinare un fattore di emissione espresso come massa di inquinante prodotta durante un ciclo LTO. I dati necessari per effettuare il suddetto calcolo sono quelli presentati al paragrafo precedente ed sono stati esplicitati per le 4 principali tipologie di aeromobile individuate presso lo scalo (Tabella 1.1, 1.2, 1.3). **Si ricorda, però, che il software EDMS non si limita a determinare le emissioni eseguendo calcoli sulla base di fattori di emissione e times in mode definiti per tipologia di aereo in database, ma "personalizza" lo studio tenendo conto dei reali percorsi a terra seguiti dagli aerei nell'aeroporto oggetto di studio e delle caratteristiche del singolo aereo e dei dati meteorologici tipici dell'area in cui è ubicato l'aeroporto.** Pertanto, i fattori di emissione riportati nelle tabelle seguenti costituiscono solo la base di partenza per il computo delle emissioni annuali.

Nelle colonne di ogni tabella si riportano:

- TIM_k : time in mode per la fase k;
- FE_k : flusso di carburante per la fase k;
- EI_k : fattore di emissione di CO_2 per la fase k.

L'emissione riferita a un ciclo LTO (fattore di emissione di inquinante in kg/LTO) si determina con la formula riportata a pag. 4. Il risultato è mostrato nell'ultima riga delle tabelle seguenti per le quattro tipologie di aereo scelte.

Tabella 1.1 – Calcolo dei fattori di emissione per Airbus A320

Operation	Step	Mode	TIM _k (s)	FF _k (kg/s)	EI _k CO (g/kg)	E _k CO (kg)	EI _k NMHC (g/kg)	E _k NMHC (kg)	EI _k NOx (g/kg)	E _k NOx (kg)	EI _k PM (g/kg)	E _k PM (kg)	EI _k SOx (g/kg)	E _k SOx (kg)	EI _k CO ₂ (g/kg)	E _k CO ₂ (kg)
Departure	1	Startup	60	0.005398	/	/	1000	323.88	/	/	/	/	/	/	/	/
	2	Taxi Out	1140	0.115878	23.1592	3059.3478	5.2639	695.3711	4.2240	557.9899	0.0741	9.7830	1.1712	154.7166	3155	416778.40
	3	Takeoff	4.819	1.108823	0.8907	4.7596	0.2289	1.2229	26.3369	140.7291	0.0861	0.4601	1.1712	6.2582	3155	16858.48
	4	Takeoff	4.819	1.111539	0.8907	4.7712	0.2289	1.2259	26.4101	141.4660	0.0861	0.4612	1.1712	6.2735	3155	16899.78
	5	Takeoff	4.819	1.113329	0.8907	4.7789	0.2289	1.2279	26.4702	142.0162	0.0861	0.4620	1.1712	6.2836	3155	16926.99
	6	Takeoff	4.819	1.114194	0.8907	4.7826	0.2289	1.2289	26.5172	142.3788	0.0861	0.4623	1.1712	6.2885	3155	16940.14
	7	Takeoff	4.819	1.114135	0.8907	4.7824	0.2289	1.2288	26.5510	142.5530	0.0861	0.4623	1.1712	6.2882	3155	16939.25
	8	Takeoff	4.819	1.11315	0.8907	4.7782	0.2289	1.2277	26.5717	142.5378	0.0861	0.4619	1.1712	6.2826	3155	16924.27
	9	Takeoff	4.819	1.111239	0.8907	4.7700	0.2289	1.2256	26.5791	142.3326	0.0861	0.4611	1.1712	6.2718	3155	16895.22
	10	Takeoff	4.819	1.108404	0.8907	4.7578	0.2289	1.2225	26.5731	141.9374	0.0861	0.4599	1.1712	6.2558	3155	16852.11
	11	Takeoff	1.225	1.106033	0.8911	1.2073	0.2290	0.3102	26.5630	35.9899	0.0861	0.1167	1.1712	1.5868	3155	4274.68
	12	Takeoff	1.461	1.104701	0.8919	1.4395	0.2292	0.3699	26.5584	42.8645	0.0861	0.1390	1.1712	1.8903	3155	5092.07
	13	Takeoff	1.736	1.103113	0.8928	1.7097	0.2294	0.4393	26.5528	50.8487	0.0861	0.1649	1.1712	2.2429	3155	6041.84
	14	Takeoff	2.186	1.101159	0.8939	2.1518	0.2297	0.5529	26.5455	63.8986	0.0861	0.2073	1.1712	2.8192	3155	7594.51
	15	Takeoff	2.929	1.098602	0.8954	2.8814	0.2301	0.7403	26.5355	85.3860	0.0861	0.2771	1.1712	3.7687	3155	10152.18
	16	Takeoff	4.334	1.094953	0.8976	4.2595	0.2306	1.0944	26.5201	125.8518	0.0861	0.4086	1.1712	5.5580	3155	14972.14
	17	Takeoff	7.675	1.088876	0.9011	7.5309	0.2315	1.9350	26.4918	221.3951	0.0861	0.7196	1.1712	9.7879	3155	26366.72
	18	Takeoff	6.865	1.082914	0.9048	6.7267	0.2323	1.7269	26.4729	196.8052	0.0861	0.6401	1.1712	8.7069	3155	23454.92
	19	Takeoff	6.865	1.078209	0.9055	6.7021	0.2326	1.7220	26.4668	195.9047	0.0861	0.6373	1.1712	8.6691	3155	23353.01
	20	Takeoff	6.865	1.072619	0.9070	6.6784	0.2330	1.7160	26.4482	194.7519	0.0861	0.6340	1.1712	8.6242	3155	23231.94
	21	Takeoff	8.091	1.065926	0.9087	7.8372	0.2335	2.0137	26.4213	227.8682	0.0861	0.7426	1.1712	10.1009	3155	27210.00
	22	Climb Out	2.714	0.979545	0.9152	2.4330	0.2340	0.6220	24.9782	66.4042	0.0744	0.1978	1.1712	3.1136	3155	8387.52
	23	Climb Out	3.128	0.895951	0.9123	2.5568	0.2402	0.6731	22.4954	63.0442	0.0744	0.2085	1.1712	3.2823	3155	8842.00
	24	Climb Out	25.995	0.883416	0.9214	21.1593	0.2439	5.6013	22.4503	515.5576	0.0744	1.7088	1.1712	26.8959	3155	72452.68
Arrival	1	Approach	24.047	0.000051	24.1034	0.0296	5.4785	0.0067	4.2836	0.0053	0.0719	0.0001	1.1712	0.0014	3155	3.87
	2	Approach	23.917	0.000051	23.9755	0.0292	5.4495	0.0066	4.2776	0.0052	0.0719	0.0001	1.1712	0.0014	3155	3.85
	3	Approach	23.917	0.000051	23.8603	0.0291	5.4233	0.0066	4.2716	0.0052	0.0719	0.0001	1.1712	0.0014	3155	3.85
	4	Approach	9.84	0.000051	23.7860	0.0119	5.4064	0.0027	4.2675	0.0021	0.0719	0.0000	1.1712	0.0006	3155	1.58
	5	Approach	4.479	0.112542	23.7569	11.9753	5.3998	2.7219	1.2658	0.6381	0.0719	0.0363	1.1712	0.5904	3155	1590.36
	6	Approach	0.767	0.225236	4.9631	0.8574	1.2073	0.2086	7.5383	1.3023	0.0719	0.0124	1.1712	0.2023	3155	545.05
	7	Approach	148.203	0.22477	5.0259	167.4200	1.2213	40.6833	7.4383	247.7807	0.0719	2.3967	1.1712	39.0145	3155	105098.06
	8	Approach	4.277	0.224223	5.0932	4.8844	1.2363	1.1856	7.3305	7.0300	0.0719	0.0690	1.1712	1.1232	3155	3025.65
	9	Approach	0.087	0.224418	5.0834	0.0992	1.2340	0.0241	7.3336	0.1432	0.0719	0.0014	1.1712	0.0229	3155	61.60
	10	Taxi In	1.403	0.514643	0.8907	0.6432	0.3838	0.2771	14.1760	10.2357	0.0741	0.0535	1.1712	0.8457	3155	2278.05
	11	Taxi In	3.587	0.741776	0.8907	2.3700	0.2826	0.7519	18.7785	49.9650	0.0741	0.1970	1.1712	3.1163	3155	8394.67
	12	Taxi In	3.587	0.621051	0.8907	1.9843	0.3285	0.7318	16.3523	36.4281	0.0741	0.1650	1.1712	2.6091	3155	7028.42
	13	Taxi In	3.587	0.50406	0.8907	1.6105	0.3919	0.7086	13.9047	25.1405	0.0741	0.1339	1.1712	2.1176	3155	5704.44
	14	Taxi In	3.587	0.3908	1.4640	2.0522	0.4858	0.6811	11.4153	16.0020	0.0741	0.1038	1.1712	1.6418	3155	4422.68
	15	Taxi In	420	0.115878	23.1592	1127.1281	5.2639	256.1893	4.2240	205.5752	0.0741	3.6043	1.1712	57.0009	3155	153549.94
Fattori di emissione (kg/LTO)						4.494		1.353		4.381		0.027		0.410		1105.153
						kg CO/LTO		kg NMHC/LTO		kg NOx/LTO		kg PM/LTO		kg SOx/LTO		kg CO₂/LTO

Tabella 1.2 – Calcolo dei fattori di emissione per Boeing 737-800

Operation	Step	Mode	TIM _k (s)	FF _k (kg/s)	El _k CO (g/kg)	E _k CO (kg)	El _k NMHC (g/kg)	E _k NMHC (kg)	El _k NOx (g/kg)	E _k NOx (kg)	El _k PM (g/kg)	E _k PM (kg)	El _k SOx (g/kg)	E _k SOx (kg)	El _k CO ₂ (g/kg)	E _k CO ₂ (kg)
Departure	1	Startup	60	0.0054	/	/	1000.0000	325.4400	/	/	/	/	/	/	/	/
	2	Taxi Out	1140	0.1292	17.7158	2610.3108	1.9454	286.6380	4.7151	694.7449	0.0537	7.9119	1.1712	172.5691	3155	464869.8783
	3	Takeoff	5.159	1.3467	0.3464	2.4067	0.1144	0.7950	30.3536	210.8863	0.1290	0.8962	1.1712	8.1371	3155	21919.8229
	4	Takeoff	5.159	1.3403	0.3464	2.3953	0.1144	0.7913	30.3536	209.8889	0.1290	0.8920	1.1712	8.0986	3155	21816.1570
	5	Takeoff	5.159	1.3329	0.3464	2.3820	0.1144	0.7869	30.3536	208.7226	0.1290	0.8870	1.1712	8.0536	3155	21694.9285
	6	Takeoff	5.159	1.3244	0.3464	2.3667	0.1144	0.7818	30.3536	207.3870	0.1290	0.8813	1.1712	8.0021	3155	21556.1050
	7	Takeoff	5.159	1.3147	0.3464	2.3495	0.1144	0.7762	30.3536	205.8823	0.1290	0.8749	1.1712	7.9440	3155	21399.7027
	8	Takeoff	5.159	1.3041	0.3464	2.3304	0.1144	0.7699	30.2724	203.6621	0.1290	0.8678	1.1712	7.8794	3155	21225.7054
	9	Takeoff	5.159	1.2923	0.3464	2.3094	0.1144	0.7629	29.9995	200.0039	0.1290	0.8600	1.1712	7.8083	3155	21034.1130
	10	Takeoff	5.159	1.2794	0.3464	2.2864	0.1144	0.7553	29.7066	196.0818	0.1290	0.8514	1.1712	7.7306	3155	20824.9581
	11	Takeoff	5.159	1.2655	0.3464	2.2615	0.1144	0.7471	29.3933	191.9017	0.1290	0.8422	1.1712	7.6465	3155	20598.2082
	12	Takeoff	1.137	1.2572	0.3465	0.4953	0.1145	0.1636	29.2164	41.7621	0.1290	0.1844	1.1712	1.6741	3155	4509.7750
	13	Takeoff	1.356	1.2551	0.3468	0.5903	0.1146	0.1950	29.1888	49.6753	0.1290	0.2195	1.1712	1.9932	3155	5369.3769
	14	Takeoff	1.611	1.2525	0.3472	0.7006	0.1147	0.2314	29.1557	58.8320	0.1290	0.2603	1.1712	2.3633	3155	6366.3269
	15	Takeoff	2.029	1.2495	0.3476	0.8813	0.1148	0.2912	29.1148	73.8106	0.1290	0.3270	1.1712	2.9692	3155	7998.4183
	16	Takeoff	2.719	1.2454	0.3482	1.1792	0.1150	0.3896	29.0609	98.4100	0.1290	0.4368	1.1712	3.9661	3155	10683.8956
	17	Takeoff	4.023	1.2397	0.3491	1.7409	0.1153	0.5751	28.9833	144.5504	0.1290	0.6433	1.1712	5.8412	3155	15735.1505
	18	Takeoff	7.123	1.2302	0.3504	3.0709	0.1158	1.0145	28.8522	252.8324	0.1290	1.1304	1.1712	10.2633	3155	27647.3309
	19	Takeoff	9.234	1.2153	0.3519	3.9489	0.1162	1.3045	28.6033	320.9857	0.1290	1.4476	1.1712	13.1432	3155	35405.3426
	20	Takeoff	8.638	1.1976	0.3530	3.6518	0.1166	1.2064	28.2798	292.5398	0.1290	1.3344	1.1712	12.1154	3155	32636.7802
	21	Takeoff	8.638	1.1795	0.3542	3.6089	0.1170	1.1922	27.9520	284.7883	0.1290	1.3142	1.1712	11.9328	3155	32144.6747
	22	Takeoff	1.103	1.1692	0.3550	0.4578	0.1173	0.1512	27.7676	35.8090	0.1290	0.1663	1.1712	1.5104	3155	4068.6672
	23	Takeoff	0.861	1.1674	0.3553	0.3571	0.1174	0.1180	27.7423	27.8843	0.1290	0.1297	1.1712	1.1772	3155	3171.1434
	24	Climb Out	2.674	1.0778	0.3557	1.0252	0.1175	0.3387	25.0571	72.2130	0.1117	0.3219	1.1712	3.3753	3155	9092.4899
	25	Climb Out	23.103	0.9818	0.3765	8.5395	0.1185	2.6884	22.9587	520.7872	0.1117	2.5333	1.1712	26.5671	3155	71566.8664
Arrival	1	Approach	12.688	0.0443	18.4629	10.3858	2.0274	1.1405	4.7833	2.6907	0.0488	0.0275	1.1712	0.6588	3155	1774.7584
	2	Approach	1.321	0.0462	18.4341	1.1240	2.0242	0.1234	4.7814	0.2915	0.0488	0.0030	1.1712	0.0714	3155	192.3669
	3	Approach	0.409	0.1975	5.8561	0.4730	0.5657	0.0457	6.9437	0.5608	0.0488	0.0039	1.1712	0.0946	3155	254.8311
	4	Approach	26.615	0.3485	1.4347	13.3070	0.1187	1.1013	10.9625	101.6752	0.0488	0.4528	1.1712	10.8627	3155	29262.0628
	5	Approach	9.442	0.3483	1.4374	4.7277	0.1188	0.3906	10.9273	35.9397	0.0488	0.1606	1.1712	3.8521	3155	10376.7588
	6	Approach	18.886	0.3483	1.4414	9.4804	0.1192	0.7837	10.8991	71.6850	0.0488	0.3211	1.1712	7.7032	3155	20750.8891
	7	Approach	18.880	0.3481	1.4471	9.5108	0.1197	0.7869	10.8605	71.3800	0.0488	0.3209	1.1712	7.6977	3155	20736.1360
	8	Approach	1.719	0.3480	1.4504	0.8677	0.1201	0.0718	10.8386	6.4841	0.0488	0.0292	1.1712	0.7007	3155	1887.4565
	9	Approach	26.605	0.3479	1.4544	13.4632	0.1205	1.1151	10.8098	100.0659	0.0488	0.4520	1.1712	10.8417	3155	29205.6574
	10	Approach	28.310	0.3478	1.4624	14.3973	0.1213	1.1939	10.7527	105.8603	0.0488	0.4807	1.1712	11.5304	3155	31060.8878
	11	Approach	18.864	0.3476	1.4696	9.6355	0.1220	0.7999	10.7023	70.1697	0.0488	0.3201	1.1712	7.6790	3155	20685.7698
	12	Approach	18.856	0.3474	1.4751	9.6639	0.1226	0.8029	10.6622	69.8520	0.0488	0.3199	1.1712	7.6730	3155	20669.6203
	13	Approach	18.855	0.3473	1.4805	9.6954	0.1231	0.8062	10.6220	69.5624	0.0488	0.3198	1.1712	7.6701	3155	20661.8021
	14	Approach	9.425	0.3472	1.4849	4.8593	0.1235	0.4043	10.5906	34.6566	0.0488	0.1598	1.1712	3.8326	3155	10324.3850
	15	Approach	8.624	0.3471	1.4877	4.4536	0.1238	0.3707	10.5707	31.6455	0.0488	0.1462	1.1712	3.5062	3155	9445.0718
	16	Approach	3.996	0.3473	1.4877	2.0645	0.1238	0.1719	10.5614	14.6565	0.0488	0.0678	1.1712	1.6253	3155	4378.3287
	17	Approach	0.082	0.3475	1.4865	0.0424	0.1237	0.0035	10.5612	0.3009	0.0488	0.0014	1.1712	0.0334	3155	89.8896
	18	Approach	1.731	0.4910	0.9250	0.7862	0.1144	0.0973	13.5153	11.4878	0.0537	0.0456	1.1712	0.9955	3155	2681.6919
	19	Taxi In	3.961	0.5921	0.7300	1.7120	0.1144	0.2684	15.4083	36.1364	0.0537	0.1259	1.1712	2.7468	3155	7399.2846
	20	Taxi In	3.961	0.5102	0.8843	1.7871	0.1144	0.2313	13.8560	28.0025	0.0537	0.1085	1.1712	2.3670	3155	6376.1589
	21	Taxi In	9.961	0.4303	1.1006	4.7178	0.1144	0.4905	12.2750	52.6187	0.0537	0.2302	1.1712	5.0205	3155	13524.3387
	22	Taxi In	420	0.1292	17.7158	961.6935	1.9454	105.6035	4.7151	255.9586	0.0537	2.9149	1.1712	63.5781	3155	171267.8499
Fattori di emissione (kg/LTO)						3.750		0.746		5.976		0.033		0.504		1356.342
						kg CO/LTO		kg NMHC/LTO		kg NOx/LTO		kg PM/LTO		kg SOx/LTO		kg CO₂/LTO

Tabella 1.3 – Calcolo dei fattori di emissione per MD81

Operation	Step	Mode	TIM _k (s)	FF _k (kg/s)	EI _k CO (g/kg)	E _k CO (kg)	EI _k NMHC (g/kg)	E _k NMHC (kg)	EI _k NOx (g/kg)	E _k NOx (kg)	EI _k PM (g/kg)	E _k PM (kg)	EI _k SOx (g/kg)	E _k SOx (kg)	EI _k CO ₂ (g/kg)	E _k CO ₂ (kg)
Departure	1	Startup	60	0.0049	/	/	1000.0000	292.2000	/	/	/	/	/	/	/	/
	2	Taxi Out	1140	0.1526	17.7059	3081.1342	0.0001	0.0198	3.9784	692.3095	0.0432	7.5177	1.1712	203.8094	3155	549025.4649
	3	Takeoff	5.235	1.1374	0.4503	2.6814	0.0001	0.0007	13.7068	81.6160	0.1047	0.6235	1.1712	6.9738	3155	18786.1947
	4	Takeoff	5.235	1.1498	0.4503	2.7105	0.0001	0.0007	13.8868	83.5858	0.1047	0.6303	1.1712	7.0495	3155	18990.1726
	5	Takeoff	5.235	1.1615	0.4503	2.7382	0.0001	0.0007	14.0643	85.5197	0.1047	0.6367	1.1712	7.1216	3155	19184.3396
	6	Takeoff	5.235	1.1727	0.4503	2.7645	0.0001	0.0007	14.2394	87.4164	0.1047	0.6429	1.1712	7.1901	3155	19368.7290
	7	Takeoff	5.235	1.1833	0.4503	2.7894	0.0001	0.0007	14.4122	89.2746	0.1047	0.6487	1.1712	7.2549	3155	19543.3241
	8	Takeoff	5.235	1.1932	0.4503	2.8130	0.0001	0.0007	14.5828	91.0932	0.1047	0.6541	1.1712	7.3161	3155	19708.1250
	9	Takeoff	5.235	1.2026	0.4503	2.8351	0.0001	0.0007	14.7513	92.8710	0.1047	0.6593	1.1712	7.3736	3155	19863.1482
	10	Takeoff	5.235	1.2114	0.4503	2.8558	0.0001	0.0007	14.9179	94.6066	0.1047	0.6641	1.1712	7.4275	3155	20008.3771
	11	Takeoff	1.394	1.2146	0.4505	0.7628	0.0001	0.0002	14.9944	25.3885	0.1047	0.1773	1.1712	1.9831	3155	5342.0410
	12	Takeoff	1.662	1.2125	0.4509	0.9086	0.0001	0.0002	14.9809	30.1897	0.1047	0.2110	1.1712	2.3602	3155	6357.9768
	13	Takeoff	1.974	1.2100	0.4514	1.0781	0.0001	0.0003	14.9648	35.7441	0.1047	0.2501	1.1712	2.7975	3155	7535.8686
	14	Takeoff	2.487	1.2069	0.4549	1.3655	0.0001	0.0003	14.9448	44.8584	0.1047	0.3143	1.1712	3.5155	3155	9470.0561
	15	Takeoff	3.332	1.2029	0.4527	1.8144	0.0001	0.0005	14.9185	59.7937	0.1047	0.4197	1.1712	4.6942	3155	12645.3435
	16	Takeoff	4.93	1.1972	0.4538	2.6782	0.0001	0.0007	14.8806	87.8259	0.1047	0.6180	1.1712	6.9125	3155	18620.9773
	17	Takeoff	8.73	1.1877	0.4556	4.7237	0.0001	0.0012	14.8165	153.6280	0.1047	1.0858	1.1712	12.1438	3155	32713.2471
	18	Climb Out	3.805	1.1194	0.4569	1.9463	0.0001	0.0005	13.8803	59.1213	0.0846	0.3602	1.1712	4.9886	3155	13438.2892
	19	Climb Out	11.634	1.0584	0.4579	5.6379	0.0001	0.0014	13.0542	160.7393	0.0846	1.0414	1.1712	14.4212	3155	38848.1604
	20	Climb Out	11.634	1.0606	0.4594	5.6680	0.0001	0.0014	13.1793	162.6155	0.0846	1.0435	1.1712	14.4511	3155	38928.6550
	21	Climb Out	10.58	1.0615	0.4609	5.1767	0.0001	0.0013	13.2909	149.2718	0.0846	0.9499	1.1712	13.1539	3155	35434.0990
	22	Climb Out	1.055	1.0617	0.4618	0.5172	0.0001	0.0001	13.3473	14.9501	0.0846	0.0947	1.1712	1.3118	3155	3533.8783
	23	Climb Out	11.634	1.0613	0.4628	5.7145	0.0001	0.0015	13.4048	165.5172	0.0846	1.0443	1.1712	14.4615	3155	38956.6244
	24	Climb Out	18.484	1.0509	0.4668	9.0683	0.0001	0.0023	13.4139	260.5601	0.0846	1.6428	1.1712	22.7501	3155	61284.6565
Arrival	1	Approach	34.996	0.2482	7.4484	64.7082	0.0001	0.0010	5.8461	50.7886	0.0632	0.5492	1.1712	10.1749	3155	27409.3213
	2	Approach	40.003	0.2480	7.4755	74.1587	0.0001	0.0012	5.8094	57.6304	0.0632	0.6271	1.1712	11.6185	3155	31298.1804
	3	Approach	19.687	0.2478	7.4970	36.5708	0.0001	0.0006	5.7797	28.1936	0.0632	0.3083	1.1712	5.7132	3155	15390.2936
	4	Approach	20.301	0.2477	7.5101	37.7601	0.0001	0.0006	5.7598	28.9600	0.0632	0.3178	1.1712	5.8887	3155	15863.0500
	5	Approach	34.991	0.2475	7.5293	65.2030	0.0001	0.0010	5.7318	49.6369	0.0632	0.5474	1.1712	10.1425	3155	27322.1662
	6	Approach	39.998	0.2472	7.5563	74.7224	0.0001	0.0011	5.6927	56.2932	0.0632	0.6251	1.1712	11.5817	3155	31198.8660
	7	Approach	38.298	0.2470	7.5841	71.7324	0.0001	0.0011	5.6512	53.4503	0.0632	0.5979	1.1712	11.0775	3155	29840.7070
	8	Approach	3.892	0.2469	7.5942	7.2983	0.0001	0.0001	5.6300	5.4106	0.0632	0.0607	1.1712	1.1256	3155	3032.0808
	9	Approach	0.08	0.2470	7.5906	0.1500	0.0001	0.0000	5.6294	0.1112	0.0632	0.0012	1.1712	0.0231	3155	62.3486
	10	Taxi In	1.458	0.3946	3.3259	1.9133	0.0001	0.0001	7.7449	4.4554	0.0432	0.0249	1.1712	0.6738	3155	1814.9767
	11	Taxi In	4.101	0.4974	2.0905	4.2646	0.0001	0.0002	8.7017	17.7508	0.0432	0.0881	1.1712	2.3892	3155	6435.9587
	12	Taxi In	4.101	0.4123	3.0662	5.1844	0.0001	0.0002	7.9045	13.3652	0.0432	0.0730	1.1712	1.9803	3155	5334.5816
	13	Taxi In	4.101	0.3304	4.6419	6.2888	0.0001	0.0002	6.8863	9.3294	0.0432	0.0585	1.1712	1.5867	3155	4274.3235
	14	Taxi In	420	0.1526	17.7059	1135.1547	0.0001	0.0073	3.9784	255.0614	0.0432	2.7697	1.1712	75.0877	3155	202272.5397
Fattori di emissione (kg/LTO)						4.735		0.292		3.439		0.029		0.531		1429.137
						kg CO/LTO		kg NMHC/LTO		kg NOx/LTO		kg PM/LTO		kg SOx/LTO		kg CO₂/LTO

1.2 Grund Support Equipment (GSE)

Una volta arrivato al gate e spenti i motori, l'aereo necessita di essere assistito da diverse tipologie di mezzi di assistenza a terra, anche denominati ground Support Equipment (GSE); si tratta di:

- autobotti per rifornire i serbatoi di carburante;
- automobili con tecnici che hanno il compito di ispezionare la cabina e verificarne il perfetto funzionamento, oppure automobili per l'invio del personale addetto alla sicurezza;
- le scalette per permettere la salita e la discesa del personale di bordo e dei passeggeri; si tratta di mezzi a motore diesel nel caso di aerei di grandi dimensioni (velivoli in grado di trasportare più di un centinaio di passeggeri) oppure di mezzi trascinati a mano per aerei più piccoli. Un caso particolare è costituito dagli aerei al *finger* (*pontile di imbarco passeggeri*) in quanto il numero di scalette impiegate si riduce di almeno una unità;
- si rende necessario l'utilizzo di autobus per il trasporto dei passeggeri al gate, quasi sempre a motore diesel; anche in questo caso l'utilizzo del *finger* riduce il numero di mezzi di almeno una unità;
- nastri trasportatori e camioncini, noti rispettivamente come *belt loader* e *baggage loader*, per il carico e scarico dei bagagli; si tratta generalmente di mezzi elettrici. I cosiddetti *cargo loader* vengono invece utilizzati soltanto con aerei di dimensioni elevate in grado di trasportare più di duecento passeggeri e sono generalmente diesel;
- mezzi destinati al servizio di svuotamento delle *toilette* può essere effettuato regolarmente ad ogni;
- LTO o saltuariamente a seconda delle dimensioni del velivolo;
- mezzi noti con il nome di *pushback*, *aircraft tug*, *aircraft tractor* hanno il compito di muovere l'aereo da e verso la posizione di parcheggio.

Per il calcolo delle emissioni si è presa in considerazione la popolazione complessiva di mezzi disponibili ed è stato effettuato, noti i dati di utilizzo dei mezzi su base annuale, il calcolo complessivo delle emissioni.

I fattori di emissione per il GSE sono funzione del tipo di combustibile utilizzato, dalla potenza sviluppata dal motore e dalla sua cilindrata, dal fattore di carico del mezzo espresso come percentuale del massimo carico trasportabile. Essi sono espressi

generalmente in grammi di inquinante emesso su potenza sviluppata (in hp) per tempo (ore) di utilizzo.

I fattori di emissione sono raccolti nel database di EDMS, il tempo di utilizzo invece è caratteristico di ogni singola aerostazione e quindi è preferibile utilizzare dati specifici on-site. Nel presente studio sono stati resi disponibili da gestore dell'aeroporto i dati relativi alle ore di funzionamento annuali di ciascun GSE.

Il computo delle emissioni viene eseguito sulla base della seguente equazione:

$$E_i = n_{GSE} \cdot HP \cdot LF \cdot H \cdot EI_i$$

Dove:

- E_i = quantità emessa dell'inquinante i-esimo;
- n_{GSE} = numero di GSE di una certa tipologia
- HP = potenza del motore del GSE considerato;
- H = ore di funzionamento annuali del singolo GSE di una certa tipologia;
- EI_i = fattore di emissione per l'inquinante i-esimo.

Nelle tabella seguente (Tabella 1.4) si riportano i fattori di emissione impiegati da EDMS per il calcolo delle emissioni dei GSE relative allo scenario 2014. E' bene sottolineare che il database di sistema di EDMS fa riferimento ai fattori di emissione medi proposti da EPA impiegando il database "NONROAD2005". Le emissioni annuali calcolate con tali fattori possono essere confrontate con i risultati del presente studio solo per lo scenario 2014, in quanto si è tenuto conto dell'invecchiamento dei mezzi tramite l'opzione "Specify a specific age". In questo modo il software applica i fattori di NONROAD2005 per uno specifico GSE: il carburante, la potenza e l'anno di costruzione determinano il fattore di emissione all'ora zero e l'età ed il tipo di GSE determinano il deterioramento da applicare: ciò significa che i fattori di emissione variano di ora in ora.

Relativamente agli scenari previsionali (2023 – 2030) è stato ipotizzato cautelativamente di non rinnovare il parco mezzi attuale (2014), pertanto, il software EDMS, per gli scenari 2023 e 2030 fa riferimento ai fattori di emissione del 2014 che verranno progressivamente aumentati per tener conto dell'invecchiamento dei GSE. Se si analizzano le emissioni complessive di inquinanti relative ai GSE, si osserva un incremento dal 2014 al 2030, a conferma del fatto che il software tiene in considerazione il deterioramento dei mezzi.

Tabella 1.4 – Fattori di emissione per GSE

η_{GSE}	H (h/anno)	HP (hp)	LF (%)	TYPE	FUEL	EI_CO (g/hp*h)	EI_NMHC (g/hp*h)	EI_VOC (g/hp*h)	EI_NO _x (g/hp*h)	EI_SO _x (g/hp*h)	EI_PM10 (g/hp*h)	EI_PM2,5 (g/hp*h)	E_CO (g/anno)	E_NMHC (g/anno)	E_VOC (g/anno)	E_NO _x (g/anno)	E_SO _x (g/anno)	E_PM10 (g/anno)	E_PM2,5 (g/anno)	
2	189	300	75%	Air Conditioner	Diesel	0.130000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004656	0.009200	0.008924	11056.5	10879.596	11642.4945	23814	395.9928	782.46	758.9862	
2	47	425	90%	Air Start	Diesel	0.130000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004656	0.009200	0.008924	4674.15	4599.3636	4921.87995	10067.4	167.40648	330.786	320.86242	
5	146	88	80%	Aircraft Tractor	Diesel	0.360000	0.127920	0.136890	0.280000	0.005228	0.009200	0.008924	18501.12	6574.06464	7035.05088	14389.76	268.677376	472.8064	458.622208	
2	81	71	50%	Belt Loader	Diesel	0.360000	0.127920	0.136890	3.000000	0.005177	0.202400	0.196328	2070.36	735.66792	787.25439	17253	29.772927	1164.0024	1129.082328	
4	246	80	50%	Cargo Loader	Diesel	0.360000	0.127920	0.136890	0.280000	0.006109	0.009200	0.008924	14169.6	5034.9312	5387.9904	11020.8	240.45024	362.112	351.24864	
4	117	88	54%	Cargo Tractor	Diesel	0.360000	0.127920	0.136890	0.280000	0.005228	0.009200	0.008924	8006.1696	2844.858931	3044.34599	6227.0208	116.2673741	204.602112	198.4640486	
4	676	55	30%	Fork Lift	Diesel	0.360000	0.127920	0.136890	3.000000	0.006109	0.202400	0.196328	16061.76	5707.27872	6107.48424	133848	272.559144	9030.2784	8759.370048	
6	456	300	25%	Fuel Truck	Diesel	0.130000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004656	0.009200	0.008924	26676	26249.184	28089.828	57456	955.4112	1887.84	1831.2048	
15	935	71	75%	Ground Power Unit	Diesel	0.360000	0.127920	0.136890	3.000000	0.005177	0.202400	0.196328	268859.25	95534.6535	102233.7298	2240493.75	3866.345381	151158.645	146623.8857	
3	567	56	25%	Lavatory Truck	Diesel	0.360000	0.127920	0.136890	3.000000	0.005177	0.202400	0.196328	8573.04	3046.28688	3259.89846	71442	123.285078	4819.9536	4675.354992	
24	368	65	57%	Passenger Stand	Diesel	0.360000	0.127920	0.136890	3.000000	0.005177	0.202400	0.196328	117801.216	41858.69875	44793.91238	981676.8	1694.046931	66230.46144	64243.5476	
1	567	235	20%	Service Truck	Diesel	0.110000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004656	0.009200	0.008924	2931.39	3408.94008	3647.98161	7461.72	124.077744	245.1708	237.815676	
3	275	53	51%	Sweeper	Diesel	0.360000	0.127920	0.136890	3.000000	0.005228	0.202400	0.196328	8027.91	2852.58402	3052.612778	66899.25	116.583093	4513.4694	4378.065318	
2	71	235	50%	auto	Diesel	0.110000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004703	0.009200	0.008924	1835.35	2134.3452	2284.00965	4671.8	78.469555	153.502	148.89694	
12	1514	230	50%	autobus	Diesel	0.110000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004703	0.009200	0.008924	229825.2	267265.8144	286007.0148	585009.6	9826.07196	19221.744	18645.09168	
4	165	180	50%	deicer	Diesel	0.110000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004703	0.009200	0.008924	6534	7598.448	8131.266	16632	279.3582	546.48	530.0856	
1	463	140	50%	minibus	Diesel	0.130000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004703	0.009200	0.008924	4213.3	4145.8872	4436.6049	9074.8	152.42423	298.172	289.22684	
2	143	310	50%	spargiliquido	Diesel	0.130000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004703	0.009200	0.008924	5762.9	5670.6936	6068.3337	12412.4	208.48399	407.836	395.60092	
2	197	10	50%	torre faro	Diesel	4.110000	0.541200	0.579150	4.300000	0.007287	0.276000	0.267720	8096.7	1066.164	1140.9255	8471	14.35539	543.72	527.4084	
2	1075	235	50%	waterservice	Diesel	0.110000	0.127920	0.136890	0.280000	0.004703	0.009200	0.008924	27788.75	32315.79	34581.83625	70735	1188.095375	2324.15	2254.4255	
													t/anno	0.791	0.530	0.567	4.349	0.020	0.265	0.257

1.3 APU (Auxiliary Power Unit)

Una volta che l'aereo ha concluso l'atterraggio e si è portato al gate, spegne i motori; da questo momento il fabbisogno di energia elettrica per il funzionamento della strumentazione di bordo, per la circolazione dell'aria condizionata e per ogni altra attività necessaria al corretto funzionamento dell'aeromobile può essere garantito per il caso degli aerei a turbina¹ dalla presenza a bordo di un generatore noto come APU (Auxiliary Power Unit).

Le APU sono motori turbofan del tutto analoghi ai motori stessi del velivolo, consumano il medesimo carburante (JET-A/JP8), ma sono di dimensioni molto più contenute.

Per quanto riguarda il contributo dovuto agli APU, la quantità di inquinante i emessa dalla APU installata sul velivolo di tipo j riferita ad un LTO, E_{ij} , può quindi essere espressa come da equazione:

$$E_{ij} = T * FF_j * EI_{ij}$$

dove:

- T è il tempo di funzionamento dell'APU riferito ad un LTO;
- FF_j è la portata di carburante consumato dalla APU del velivolo j ;
- EI_{ij} è il fattore di emissione dell'inquinante i per l' APU del velivolo j .

Analogamente a quanto accade per gli altri motori che equipaggiano gli aeromobili, anche le emissioni delle APU sono state raccolte e pubblicate e lo stesso si può dire per le portate di combustibile consumato. Questi dati sono resi disponibili nei documenti realizzati dalla FAA e dall'EPA e sono memorizzati nei database di EDMS.

Immediato è allora anche il calcolo delle emissioni totali di inquinante i al gate preso in considerazione:

$$E_{Ti} = \sum_j (E_{ij} * LTO_j)$$

¹ Gli aerei a elica non sono provvisti di APU.

dove:

- ET_i è la quantità totale di inquinante i emesso dall'APU al gate di riferimento
- LTO_j è il numero totale di LTO realizzati dal velivolo j ed imputabili al gate di riferimento.

Ovviamente, qualora l'aerostazione fosse dotata di più di un gate e si volessero ottenere le emissioni totali di inquinante i imputabili agli APU, si dovrebbero sommare tra loro i valori di ET_i calcolati per ciascun gate. Nell'aeroporto in esame è presente un solo gate.

In tabella 1.5 vengono indicate le tipologie di APU (Auxiliary Power Unit) utilizzate da ogni tipologia di aeromobile.

Il tempo di funzionamento degli APU è cautelativamente impostato come pari a 26 minuti per ciclo LTO, considerando quindi sia APU che GPU funzionanti anche se di fatto sono alternativi, salvo per i pochi minuti prima dell'accensione del motore dell'aereo in partenza.

Tabella 1.5 – Assegnazione tipologia APU per modello Aeromobile

DENOMINAZIONE AEROMOBILE	DENOMINAZIONE AEROMOBILE in EDMS	TIPOLOGIA APU
F100/TAY 620-15	Fokker F100	APU GTCP 36-150[RR]
BAE146-200/ALF502R-5	BAE 146-200	APU GTCP 36-100
A319-131\IAE V2522-A5	Airbus A319-100 Series	APU GTCP 36-300 (80HP)
A320-211\CFM56-5A1	Airbus A320-200 Series	APU GTCP 36-300 (80HP)
A321-232\V2530-A5	Airbus A321-200 Series	APU GTCP 36-300 (80HP)
Boeing 717-200/BR 715	Boeing 717-200 Series	APU GTCP 85 (200 HP)
Boeing 737-300/CFM56-3B-1	Boeing 737-300 Series	APU GTCP85-129 (200 HP)
Boeing 737-400/CFM56-3C-1	Boeing 737-400 Series	APU GTCP85-129 (200 HP)
Boeing 737-500/CFM56-3C-1	Boeing 737-500 Series	APU GTCP85-129 (200 HP)
Boeing 737-700/CFM56-7B24	Boeing 737-700 Series	APU 131-9
Boeing 737-800/CFM56-7B26	Boeing 737-800 Series	APU 131-9
Boeing 757-200/RB211-535E4	Boeing 757-200 Series	APU GTCP331-200ER (143 HP)
Boeing 767-300/PW4060	Boeing 767-300 ER	APU GTCP331-200ER (143 HP)
Antonov-124	Antonov 124 Ruslan	/
Avions de Transport Regional ATR-72	ATR 72-200	/
CL-600-2D15/CL-600-2D24/CF34-8C5	Bombardier CRJ-900	APU GTCP 85 (200 HP)
DASH 8-100/PW121	DeHavilland DHC-8-100	/
ERJ170-200	Embraer ERJ 175	/
ERJ190-200	Embraer ERJ 195	APU GTCP 36-150[]
Embraer 145 ER/Allison AE3007	Embraer ERJ 145	APU GTCP 36-150[]
Fokker 50	Fokker F50	APU GTCP30-54
MD-82/JT8D-217A	Boeing MD-82	APU GTCP85-98 (200 HP)
MD-83/JT8D-219	Boeing MD-83	APU GTCP85-98 (200 HP)
SAAB 2000	Saab 2000	/
Yakolev Yak-42	Yakolev 42 Clobber	APU GTCP 85 (200 HP)
Cessna Citation CJ4 525C /FJ44-4A	Cessna 525 CitationJet	/
CL-600-2D15/CL-600-2D24/CF34-8C5	Bombardier Challenger 601	APU GTCP 36-100
Gulfstream GV/BR 710	Gulfstream V-SP	/

In tabella 1.6. per ogni tipologia di APU individuata vengono indicati i fattori di emissione espressi in kg di inquinante nell'unità di tempo.

Tabella 1.6 – Fattori di emissione per APU

TIPOLOGIA APU	CO (kg/h)	HC (kg/h)	NO _x (kg/h)	SO _x (kg/h)	PM (kg/h)
APU 131-9	0.5645	0.0428	0.7680	0.1157	0.0930
APU GTCP 36-100	2.0596	0.0377	0.3530	0.0662	0.0620
APU GTCP 36-150[]	0.4359	0.0412	0.3100	0.0676	0.0620
APU GTCP 36-150[RR]	0.6026	0.0407	0.4391	0.0830	0.0620
APU GTCP 36-300 (80HP)	0.2055	0.0150	1.0125	0.1002	0.0620
APU GTCP 85 (200 HP)	1.9201	0.1099	0.5070	0.1067	0.1550
APU GTCP30-54	1.1361	0.1349	0.1117	0.0313	0.0775
APU GTCP331-200ER (143 HP)	0.5019	0.0523	1.1557	0.1215	0.1108
APU GTCP85-129 (200 HP)	1.9201	0.1099	0.5070	0.1067	0.1550
APU GTCP85-98 (200 HP)	1.9201	0.1099	0.5070	0.1067	0.1550

1.4 Centrali termiche

Per quanto concerne il calcolo delle emissioni dovute alle centrali di riscaldamento si sfrutta il metodo dei coefficienti di emissione.

Per la centrale termica k-esima si può concludere che la quantità E_{ik} di inquinante i-esimo emessa nell'arco di un anno è data da:

$$E_{ik} = F_{jk} * EI_{ij}$$

dove:

- E_{ik} = quantità di inquinante i emessa dalla centrale termica k
- F_{jk} è la portata di combustibile j espressa generalmente su base annuale utilizzata presso la centrale termica k
- EI_{ij} è il fattore di emissione dell'inquinante i relativo al combustibile j utilizzato.

La portata F_{jk} è specifica per ogni centrale e deve essere nota per poter eseguire il calcolo; si tratta della quantità di combustibile bruciato nell'arco dell'anno ed è stata fornita dai gestori dell'aeroporto.

Per quel che riguarda il fattore di emissione E_{ij} esso è espresso come massa di inquinante emessa per unità di volume o unità di massa di combustibile bruciato ed è presente nel database interno di EDMS. Le unità di misura sono kg/1000l per combustibili liquidi, kg/1000m³ per combustibili gassosi a 25°C e 1 atm e kg/t per combustibili solidi.

In tabella 1.7 vengono indicati i fattori di emissione impiegati da EDMS per il calcolo delle emissioni delle centrali termiche, espressi come kg di inquinante per unità di combustibile consumato (gas metano).

Tabella 1.7 – Fattori di emissione per Centrali termiche (per unità di combustibile)

CENTRALE TERMICA	E_{ij} (CO) kgCO/1000Sm ³	E_{ij} (THC) kgTHC/1000Sm ³	E_{ij} (NOx) kgNOx/1000Sm ³	E_{ij} (SOx) kgSOx/1000Sm ³	E_{ij} (PM) kgPM/1000Sm ³
CT1 (ARRIVI)	1.30	0.18	4.49	0.01	0.12
CT2 (HANGAR)	1.30	0.18	4.49	0.01	0.12
CT3 (CORPO CENTRALE)	1.30	0.18	4.49	0.01	0.12
CT4 (CENTRALE TECNOLOGICA)	1.30	0.18	4.49	0.01	0.12

Nella successiva tabella 1.8 si riportano i consumi di combustibile per le centrali termiche per ogni scenario considerato (2014, 2023, 2030).

Tabella 1.8 – Consumo di gas (Sm³/anno)

	CT1 (ARRIVI)	CT2 (HANGAR)	CT3 (CORPO CENTRALE)	CT4 (CENTRALE TECNOLOGICA)
2014	98 400	171 400	-	266 300
2023	114 150	168 050	347 600	58 800
2030	114 150	168 050	347 600	58 800

2. STIMA DELLE EMISSIONI DI CO₂

2.1 Calcolo delle emissioni mediante modello EMDS

2.1.1 Metodologia di calcolo

Per la descrizione dettagliata della metodologia di calcolo delle emissioni si rimanda al capitolo 1. Di seguito, vengono riassunte le **ipotesi per il computo delle emissioni**:

- altezza dello strato di rimescolamento pari a 914,4 m (3000 ft), parametro che influenza la durata della fase di climb out e, di conseguenza, le emissioni di ciascuna tipologia di aeromobile;
- utilizzo dell'opzione "sequence modelling" (obbligatoria per la successiva valutazione della dispersione degli inquinanti): in questo modo EDMS è in grado di determinare i tempi della fase di taxi sulla base della reale configurazione e della lunghezza dei percorsi degli aeromobili a terra (taxiway); la durata della fase di taxi influenza l'ammontare delle emissioni;
- impiego dell'opzione "Performance based" che permette di tener conto del profilo di volo e, quindi, del tipo di motore dell'aereo, del peso, della quota e dei dati meteorologici nella definizione dei times in mode (durata delle fasi di take off, approach, climb out e taxi).

2.1.2 Emissioni di CO₂ calcolate con EDMS

Il software in questione determina le emissioni in tonnellate annue di CO₂ generata dalla sorgente "Aircraft" (Aeromobili). I risultati sono i seguenti:

- Scenario 2014: 18092 t/anno (30126 movimenti)
- Scenario 2023: 24693 t/anno (39657 movimenti)
- Scenario 2030: 29163 t/anno (47039 movimenti).

2.2 Emissioni stimate dal software INEMAR

2.2.1 Metodologia di stima

Per quantificare le emissioni prodotte dall'aeroporto Valerio Catullo di Villafranca di Verona (VR), è stato utilizzato il modulo di calcolo delle emissioni aeroportuali, che utilizza l'approccio dei fattori di emissione e degli indicatori di attività, integrato all'interno del software INEMAR.

La metodologia di stima delle emissioni si basa su quanto proposto dall'ultima versione (Dicembre 2001) delle linee guida dell'Agenzia Europea per l'ambiente contenute nel Atmospheric Emission Inventory Guidebook vers. 3.

Ai fini della stima delle emissioni, il percorso compiuto da un aereo può essere scomposto in due parti:

- **landing/take off cycles (LTO)**: include tutte le attività e le operazioni di un aereo al di sotto del limite dei 1000 m., che corrisponde all'altezza standard della zona di rimescolamento;
- **cruise**: comprende le fasi di volo al di sopra dei 1000 m.

Le emissioni aeree legate ai processi di combustione verranno calcolate solo relativamente alle attività del ciclo LTO, poiché i fattori di emissione per la fase di crociera hanno una elevata incertezza.

Un **ciclo LTO** è suddiviso in cinque fasi:

1. ***Approach***: misurato dal momento in cui l'aereo entra nella "zona di mescolamento" al momento dell'atterraggio;
2. ***Taxi/idle in***: tempo trascorso dopo l'atterraggio fino a quando l'aereo viene parcheggiato e i motori vengono spenti;
3. ***Taxi/idle out***: periodo che intercorre tra l'avvio del motore e il decollo;
4. ***Take off***: corrisponde alla fase di regolazione finché l'aereo raggiunge i 150-300 m. di quota;
5. ***Climb out***: periodo successivo al decollo che termina quando l'aereo supera la zona di mescolamento.

Ciascuna di queste fasi è caratterizzata da una propria durata (Time in Mode – TIM) e da un certo regime di spinta dei motori, di conseguenza per ognuna di esse e per ogni tipologia di aereo (identificato dal codice ICAO) è previsto un fattore di emissione, specifico per ciascun inquinante. I fattori di emissione contenuti in INEMAR ed utilizzati nella stima delle emissioni sono quelli proposti dall'Atmospheric Emission Inventory Guidebook. Essi dipendono dal tipo di inquinante, dalla fase di movimento (approach-landing, taxi in, taxi out, take off, climb) e dal tipo di aereo (codice ICAO). A ciascun tipo di aereo, il software INEMAR associa una "tipologia emissiva" e più tipologie ICAO possono ricadere in una medesima tipologia emissiva.

Per ogni inquinante emesso dagli aeromobili la stima dell'emissione è la seguente:

$$Em_{A_{i,j,K,w}} = \frac{FE_{AEREI_{i,j}} \cdot NUM_{MOVIMENTI_{i,j,k}} * \left(\frac{DURATA_{FASE_{CLASSE_{s,f,c}}}}{DURATA_{RIFERIMENTO_f}} \right)}{1000}$$

dove:

- $Em_{A_{i,j,k}}$: emissioni per ogni codice aereo i (ID_CODICE_ICAO) e per ogni fase di movimento j (ID_FASE_MOVIMENTO), per ogni nazionalità w (A_NAZ_VOLO), nell'ora k [t/anno];
- $FE_{AEREO_{i,j}}$: fattore di emissione (da tabella A_FE) per ogni codice aereo i (ID_CODICE_ICAO) e per ogni fase di movimento j (ID_FASE_MOVIMENTO) [kg/volo];
- $NUM_{MOVIMENTI_{i,k}}$: numero di movimenti (da tabella A_VOLI) per ogni codice aereo i (ID_CODICE_ICAO) e per decollo o atterraggio (legati alle fasi di movimento in ID_FASE_MOVIMENTO), per ogni nazionalità w (A_NAZ_VOLO), nell'ora k . [voli/ora];
- $DURATA_{FASE_{CLASSE_{s,f,c}}}$ = durata della fase f , nello stabilimento-aeroporto s , per la classe c (il legame fra la classe aereo e il codice icao è nella tabella A_TIPO_AEREO);
- $DURATA_{RIFERIMENTO_f}$ = durata di riferimento della fase f .

L'utilizzo del modulo di calcolo ha richiesto il di definire gli indicatori di attività, ovvero ai movimenti "classificati" per tipo di aereo, di movimento, di nazionalità ed ora, a partire dai dati di traffico aereo forniti dalla società di gestione aeroportuale per l'anno 2005.

Per ogni movimento (decollo od atterraggio) registrato nello scalo aeroportuale nell'anno 2005, la società di gestione ha fornito i seguenti dati relativi sia all'aviazione commerciale (AC) che all'aviazione generale (AG – piccoli velivoli):

- data e ora del volo;
- tipo di movimento (atterraggio o decollo);
- modello dell'aeromobile (Mod. AM);
- tipo di aereo (codice ICAO, International Civil Aviation Organization).

Si è dunque proceduto a classificare un totale di 36,371 movimenti (atterraggi + decolli) nell'anno 2005. Sono state identificate 68 tipologie di aerei (di AC e di AG) circolanti presso l'aeroporto Villafranca di Verona nel 2005.

Il 99% dei movimenti è attribuibile a sole 23 tipologie di aeromobili, ripartiti nel 36% dei casi in voli nazionali e nel 64% in voli internazionali. E' emersa, inoltre, una notevole prevalenza di Boeing MD81 rispetto alle altre tipologie di aeromobili (7497 movimenti).

2.2.2 Emissioni di CO₂ calcolate sulla base dell'inventario INEMAR 2005

Le emissioni di CO₂ ammontano a 39500 tonnellate/anno, calcolate considerando un numero di movimenti pari a 36371.

2.3 Confronto EDMS vs INEMAR

In tabella 2.1 vengono riepilogate le emissioni di CO₂ calcolate con il software EDMS e quelle stimate con il software INEMAR nel 2005.

Tabella 2.1 – Confronto tra le emissioni di CO₂ calcolate con EDMS (2014, 2023, 2030) e quelle ricavate con il software INEMAR (2005)

EMISSIONI calcolate con il software EDMS			
SCENARI	CO ₂ (tonnellate/anno)	movimenti	CO ₂ ($\frac{kgCO_2}{anno \cdot mov}$)
2014	18092	30126	600,5
2023	24693	39657	622,7
2030	29163	47039	619,0
EMISSIONI calcolate con il software INEMAR			
SCENARI	CO ₂ (tonnellate/anno)	movimenti	CO ₂ ($\frac{kgCO_2}{anno \cdot mov}$)
2005	39500	36371	1086

Dal confronto sono emerse le seguenti differenze tra i due metodi:

- si sono considerate **due diverse altezze di rimescolamento**: 914,4 m (3000 ft) nel presente studio (EDMS) e 1000 m nelle analisi eseguite con il software INEMAR. Tale parametro ha una notevole influenza sulla valutazione delle emissioni con EDMS; infatti, qualora tale valore dovesse variare, cambierebbe l'altezza a cui termina il climb out ed ha inizio l'approach e quindi varierebbero i times in mode e le corrispondenti emissioni. Un incremento del valore dell'altezza di rimescolamento da 914,4 m a 1000 m porta a un aumento dell'emissione di CO₂ di circa 1000 tonnellate/anno.
- Il software EDMS tiene conto dei **tempi di taxi effettivi** determinati sulla base della configurazione di gates (piazze di sosta aeromobili), taxiways (bretelle di raccordo, vie di rullaggio), runways (piste di atterraggio decollo), taxipaths (percorsi seguiti dagli aeromobili per l'accesso o l'uscita dalla pista) dell'aeroporto, fornita in input. La valutazione della durata della fase di taxi influisce sulla valutazione delle emissioni. Al contrario, il software INEMAR fa

riferimento a times in mode tabulati in un database per tipologia di aeromobile (il software INEMAR funziona mettendo in relazione i dati forniti dall'utente in merito alla tipologia di aerei e al numero di movimenti con tabelle Access contenenti i dati dei fattori di emissione per tipologia di aereo e dei times in mode).

- Il software EDMS tiene conto della **capacità del sistema aeroportuale** in termini di numero massimo orario di decolli e atterraggi in funzione della pista utilizzata, che può influenzare la durata delle soste a motori accesi in fase di taxi nei periodi di maggior traffico.
- Il software EDMS **modella in modo dinamico il volo di un aereo** tenendo conto del profilo di volo e, quindi, del tipo di motore dell'aereo, del peso, della quota e dei dati meteorologici nella definizione dei times in mode (durata delle fasi di take off, approach, climb out e taxi).
- Il software EDMS ha eseguito il calcolo delle emissioni con riferimento al numero di movimenti per tipologia di aereo registrati presso lo scalo nel 2014 quando è emersa una **prevalenza di Airbus A320** (6336 movimenti) **rispetto agli MD 80** (1367 movimenti); al contrario i calcoli eseguiti dal software INEMAR sono basati sui movimenti e sulla flotta 2005 quando si evidenziava un numero di movimenti superiore per gli MD 80 (7497 movimenti) rispetto a quello degli A320 (3672 movimenti). Se si esegue il calcolo delle emissioni di CO₂ sulla base dei database di sistema di EDMS si ottiene un fattore di emissione di CO₂ di circa il 30% superiore per l'aeromobile MD81 rispetto all'aeromobile A320:
 - 1430 kgCO₂/LTO con riferimento all'aeromobile MD81;
 - 1105 kgCO₂/LTO con riferimento al A320 all'aeromobile.

In conclusione, il software EDMS non si limita a determinare le emissioni eseguendo calcoli sulla base di fattori di emissione e times in mode definiti per tipologia di aereo in database, ma "personalizza" lo studio tenendo conto dei reali percorsi a terra seguiti dagli aerei nell'aeroporto oggetto di studio e delle caratteristiche del singolo aereo e dei dati meteorologici tipici dell'area in cui è ubicato l'aeroporto.

A riconferma delle suddette considerazioni, si sono determinate le emissioni di CO₂ mediante EDMS eliminando l'influenza della reale configurazione dell'aeroporto, cioè degli effettivi percorsi seguiti dagli aeromobili a terra (in pratica evitando l'utilizzo dell'opzione

“sequence modelling”) e impostando un’altezza di rimescolamento di 1000 m: in questo modo la produzione di CO₂ ammonta a 41662 tonnellate di CO₂ all’anno simulate per lo scenario 2023, caratterizzato da un numero di movimenti pari a 39657 e pertanto del tutto confrontabile con i risultati del software INEMAR riferiti al 2005 (36371 movimenti). Inoltre, le emissioni di CO₂ sono state anche riferite al numero di movimenti, in modo da rendere i due risultati maggiormente confrontabili come mostrato nella tabella 2.2 seguente:

Tabella 2.2– Confronto tra le emissioni di CO₂ calcolate con EDMS (2014, 2023, 2030) e quelle ricavate con il software INEMAR (2005)

CONFRONTO EMISSIONI calcolate con EDMS e INEMAR			
Software ed anno di riferimento	CO₂ (tonnellate/anno)	movimenti	CO₂ ($\frac{kgCO_2}{anno \cdot mov}$)
EDMS 2023	41663	39657	1050
INEMAR 2005	39500	36371	1086
INEMAR 2010	34289	36919	929

In tabella 2.2 è stata riportata anche l’emissione di CO₂ dovuta agli aeromobili calcolata elaborando i dati dell’inventario INEMAR 2010.

Concludendo, proprio perché il software EDMS consente di “personalizzare” lo studio tenendo conto dei reali percorsi a terra seguiti dagli aerei nell’aeroporto e dei dati meteorologici tipici dell’area è possibile riscontrare delle differenze rispetto ai risultati ottenuti da INEMAR, senza trascurare il diverso fleet mix del 2005 considerato da INEMAR rispetto a quello di partenza per le modellazioni con EDMS.

3. APPROFONDIMENTI RELATIVI ALLE EMISSIONI DI OSSIDI DI AZOTO

3.1 Revisione delle mappe di dispersione degli ossidi di azoto

Sono state nuovamente rielaborate le mappe di dispersione degli ossidi di azoto effettuando delle valutazioni sulla base delle percentuali di trasformazione ottenute nella stazione ARPAV di Cason (per l'intero anno 2014 risulta il 59% tra la media annua di NO₂ e la media annua di NO_x e l'81% per la media dei rapporti orari di un intero anno); inoltre, è stata analizzata la possibilità di adottare il metodo Tier 2, proposto nelle linee guida di U.S – EPA relative ai Modelli di Qualità dell'Aria (EPA, "Appendix W: Revision to the Guideline on Air Quality Models", 2005).

3.1.1 Definizione del rapporto di conversione NO_x – NO₂

3.1.1.1 Campagne di misura condotte in località Calzoni

Le mappe con rappresentata la distribuzione del numero di superamenti di NO₂ consegnate nell'ambito della redazione dello Studio di Impatto Ambientale sono state realizzate ipotizzando un rapporto di conversione di NO₂ pari al 53%: tale risultato è stato ottenuto eseguendo il rapporto tra le medie di NO₂ e NO_x calcolate considerando i dati di tutte le campagne condotte nel 2010, 2011, 2013. Se si fa riferimento solo alla campagna 2013 si ottiene:

- il 59% per l'intera campagna 2013 calcolato come rapporto tra la media sull'intero periodo di misurazione di NO₂ e la media sull'intero periodo di misurazione di NO_x;
- il 75% per la media dei rapporti orari dell'intera campagna 2013.

3.1.1.2 Metodo proposto da U.S. EPA

In merito alla previsione delle concentrazioni di NO₂ ed alla scelta della percentuale di NO₂ rispetto agli ossidi di azoto totali si è fatto riferimento alle linee guida dell'US-EPA (EPA, "Clarification on the use of AERMOD Dispersion modeling for Demonstrating Compliance with the NO₂ National Ambient Air Quality Standard", 2014): US-EPA propone

di assumere in un primo step la conversione completa di NO_x in NO_2 (Tier 1), in seguito, se con la suddetta ipotesi non si rispettano i limiti, è possibile considerare l'80% di conversione degli NO_x per le concentrazioni orarie ed il 75% per le annuali (Tier 2).

U.S-EPA, però, ha introdotto anche un **nuovo metodo (sempre in ambito Tier 2) per la previsione delle concentrazioni orarie di NO_2 (in alternativa al considerare l'80% di conversione degli NO_x), denominato ARM2** (Ambient Ratio Method 2) che sulla base dell'elaborazione statistica di valori misurati di concentrazione di NO_x e NO_2 (messi a disposizione da EPA's Air Quality Systems, AQS) ha permesso di ricavare una curva polinomiale che tenga conto della dipendenza del rapporto di conversione (rapporto tra NO_2 e NO_x) dalla concentrazione di NO_x stessa: ad alte concentrazioni di NO_x corrispondono bassi rapporti di conversione e viceversa. Il metodo ARM2 è stato sviluppato raggruppando i dati di AQS in intervalli di 10 ppb per concentrazioni di NO_x inferiori a 200 ppb ed in intervalli di 20 ppb per concentrazioni di NO_x comprese tra 200 e 600 ppb; in ogni intervallo è stato determinato il 98-esimo percentile del rapporto NO_2/NO_x ed, infine, l'equazione ARM2 è stata ottenuta applicando una regressione polinomiale del sesto ordine basata sul 98-esimo percentile dei rapporti (NO_2/NO_x) calcolato in ciascun intervallo. Pertanto, l'equazione polinomiale ARM2 (Figura 3.1) permette di prevedere il rapporto di conversione a partire dalla concentrazione totale di ossidi di azoto.

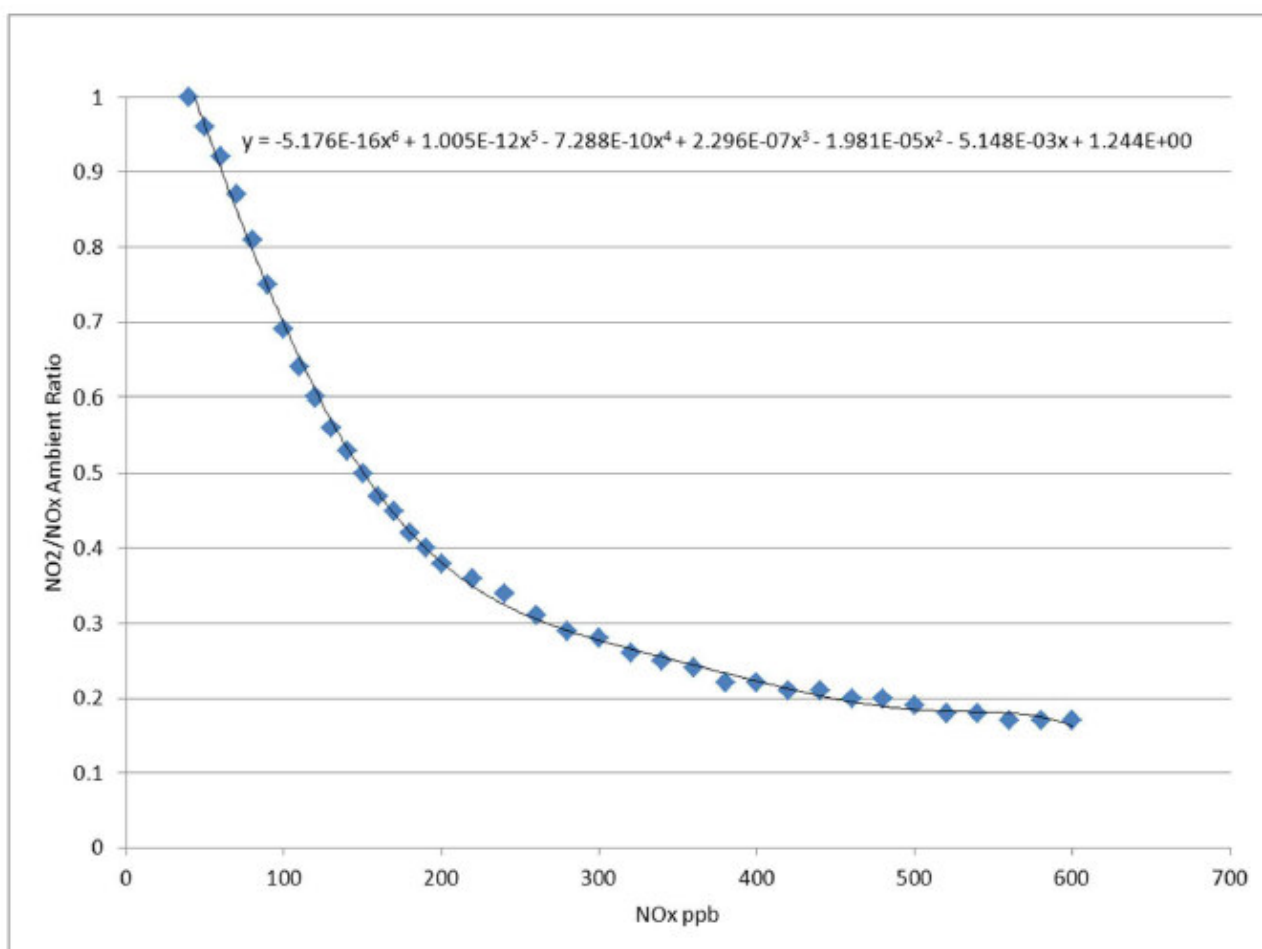


Figura 3.1 – Equazione del metodo ARM2

La validità del metodo in questione è anche stata verificata dall'EPA confrontando i rapporti di conversione previsti dall'equazione ARM2 con quelli reali misurati, considerando tre casi studio (RTP Environmental Associates, "ARM2 for use with AERMOD for 1-hr NO₂ modeling", API, 2013).

Pertanto, al fine di verificare l'applicabilità dell'equazione del metodo ARM2 all'area di studio in esame sono stati confrontati i dati relativi alle campagne di misura di NO₂ e NO_x presso la postazione di Calzoni (anni 2010-2012-2013) con le percentuali di conversione previste dal metodo (cfr. figura 3.2). Come si evince dalla Figura 3.1, l'equazione polinomiale è stata ottenuta con riferimento alle concentrazioni di NO_x riportate in ppb; pertanto i dati misurati a Calzoni sono stati convertiti dai µg/m³ ai ppb, considerando una temperatura di riferimento di 293 K. Per rendere, poi, più immediato il confronto con i limiti la curva del metodo ARM2 e i dati misurati sono stati diagrammati riconvertendo le concentrazioni in µg/m³.

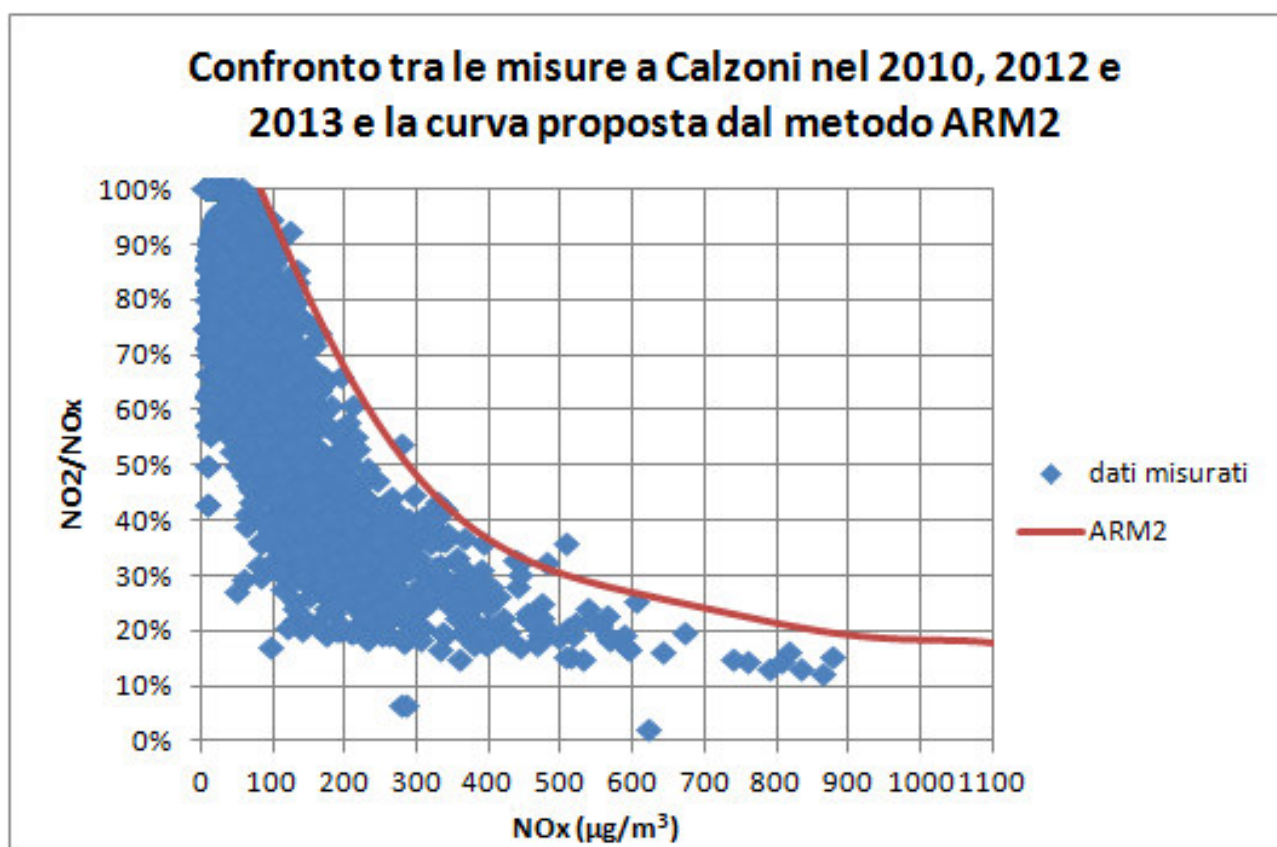


Figura 3.2 – Confronto dei dati relativi alle misure effettuate presso la centralina a Calzoni e l'equazione del metodo ARM2

Dall'esame della figura 3.2, emerge che il metodo può essere applicato al presente studio, in quanto risulta cautelativo (si osservano solo pochi valori orari superiori ai rapporti previsti sulla base dell'equazione ARM2).

Per quanto concerne la previsione delle concentrazioni medie annue di NO₂ si considera una percentuale di conversione del 75%, sulla base dell'applicazione del metodo Tier 2 per le medie annuali (come suggerito da U.S-EPA)².

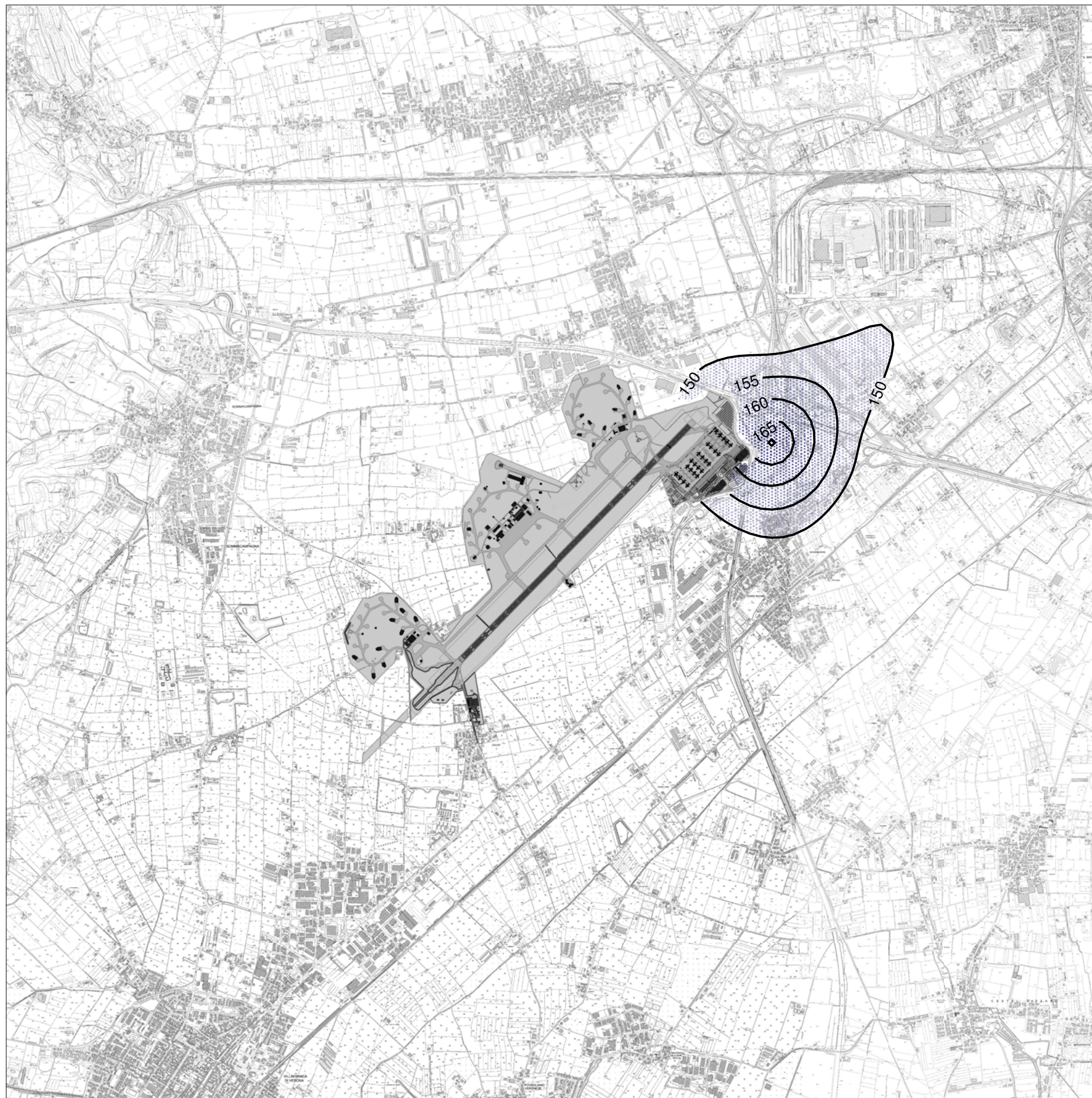
² U.S-EPA prevede l'impiego del metodo ARM2 solo per la valutazione delle concentrazioni orarie di NO₂.

3.1.2 Mappe di dispersione di NO₂

Sulla base dell'applicazione del **metodo ARM2 (nuovo metodo in ambito Tier 2** per le concentrazioni orarie) sono state rielaborate le mappe di **concentrazione massima oraria** del biossido di azoto presentate nell'ambito del SIA sulla base dei risultati del modello EDMS.

In particolare, applicando il metodo ARM2 emerge che anche nello scenario 2030 non risultano superamenti del limite orario di NO₂; la concentrazione oraria massima raggiunta è inferiore al limite di 200 µg/m³, le mappe di dispersione delle concentrazioni massime orarie sono rappresentate in figura 3.3, 3.4, 3.5.

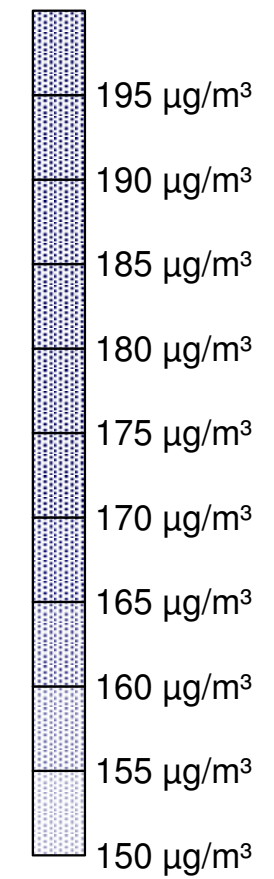
Inoltre, sono state rielaborate le mappe di **concentrazione media annua** considerando un rapporto NO₂/NO_x pari al 75% con riferimento al **metodo Tier 2**, proposto nelle linee guida di U.S – EPA relative ai Modelli di Qualità dell'Aria. Non si evidenziano superamenti del limite orario di NO₂ (40 µg/m³) neanche nello scenario più gravoso (scenario 2030): le mappe di dispersione relative alle concentrazioni medie annue sono mostrate in figura 3.6, 3.7, 3.8.



LEGENDA

SCENARIO 2014

Concentrazione massima oraria di biossido di azoto (NO₂)



NOTA : NON SONO PREVISTI SUPERAMENTI del limite orario di biossido di azoto (NO₂)

Valore limite orario per il biossido di azoto (NO₂) - D.Lgs. 155/2010 - All. XI

200 µg/m³

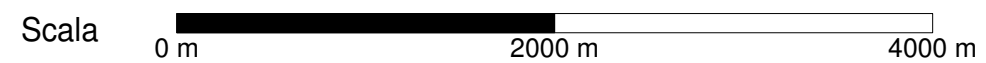
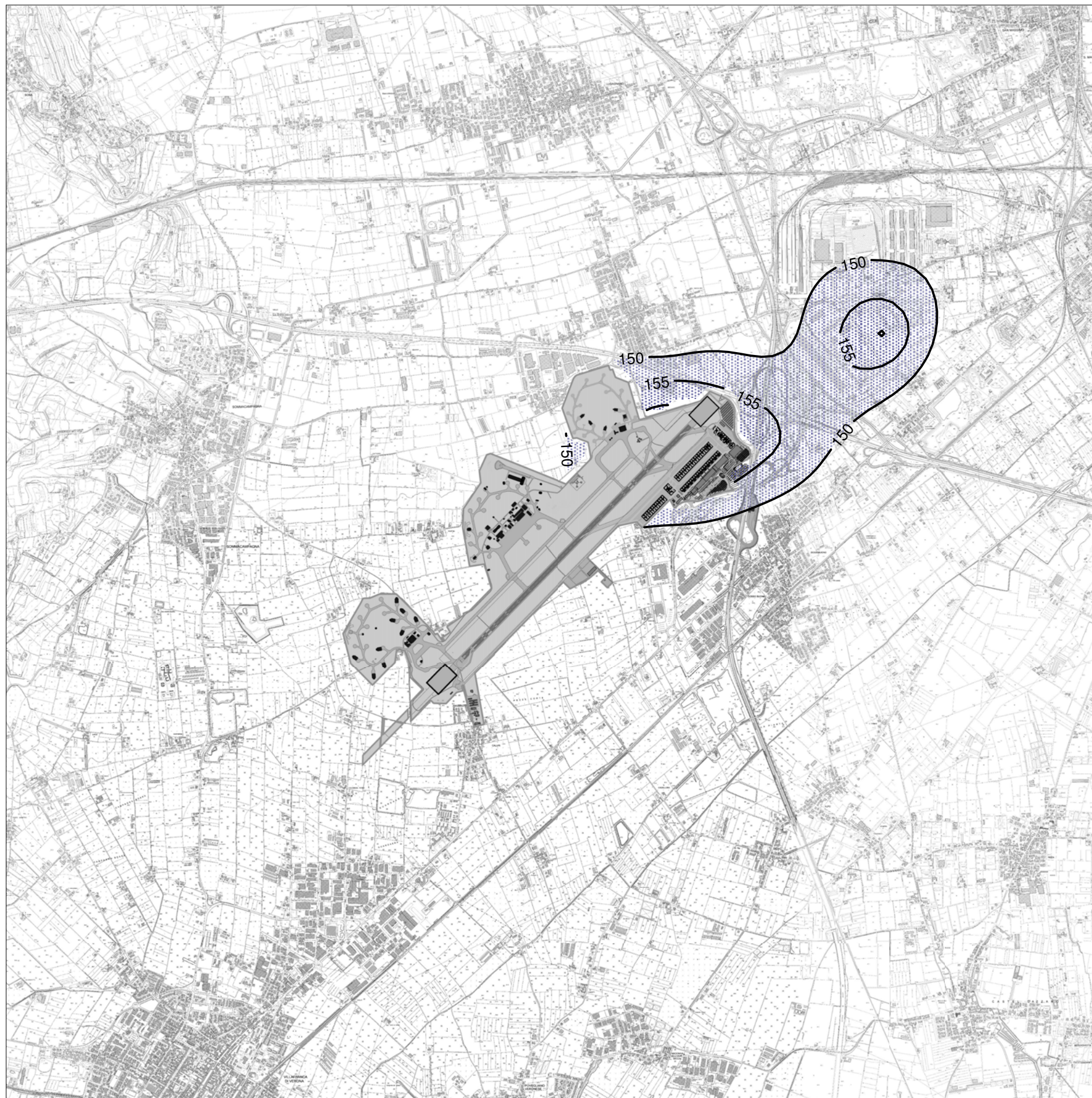


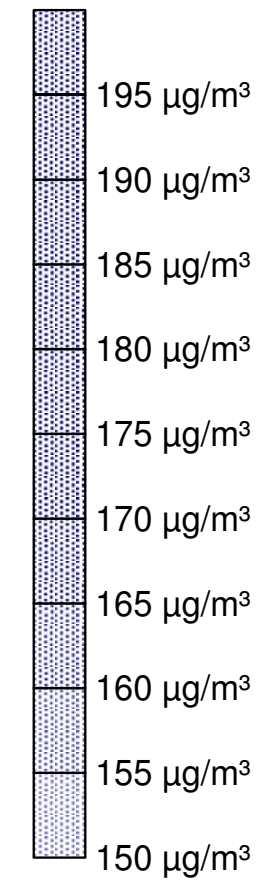
Figura 3.3 - Contributo attribuibile all'opera in progetto: NO₂ (Concentrazione massima oraria)



LEGENDA

SCENARIO 2023

Concentrazione massima oraria di biossido di azoto (NO₂)



NOTA : NON SONO PREVISTI SUPERAMENTI del limite orario di biossido di azoto (NO₂)

Valore limite orario per il biossido di azoto (NO₂) - D.Lgs. 155/2010 - All. XI

200 µg/m³

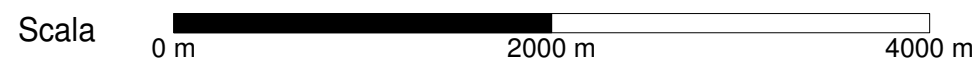
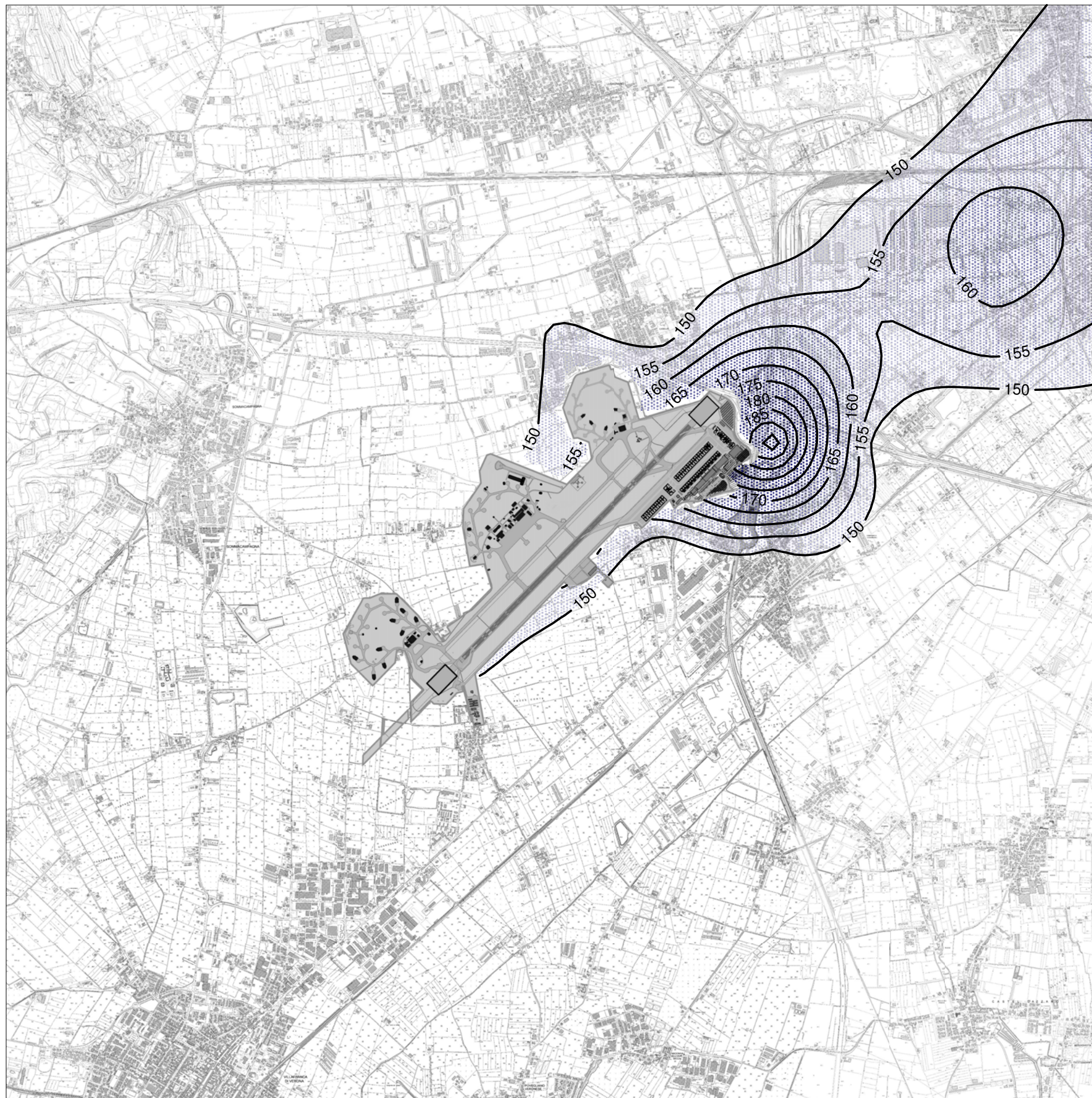


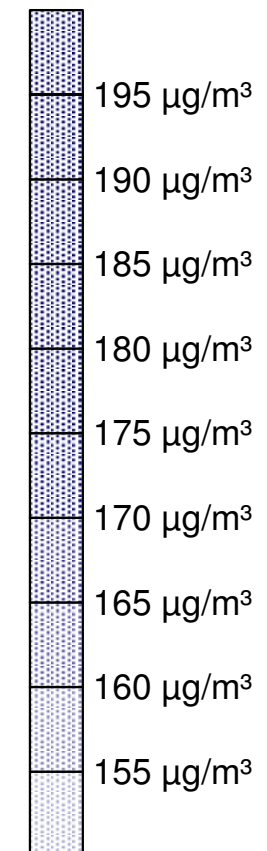
Figura 3.4 - Contributo attribuibile all'opera in progetto: NO₂ (Concentrazione massima oraria)



LEGENDA

SCENARIO 2030

Concentrazione massima oraria di biossido di azoto (NO₂)



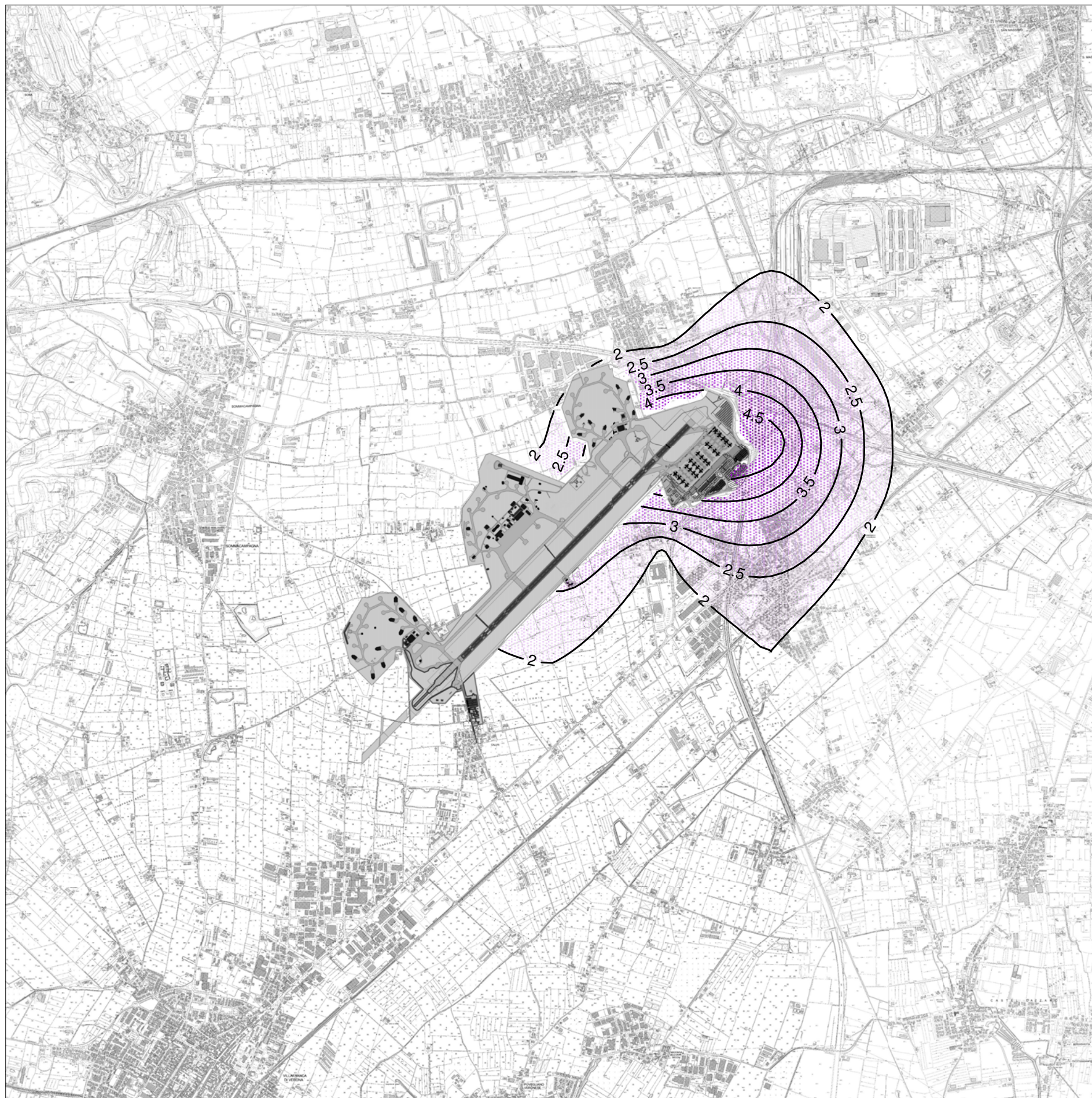
NOTA : NON SONO PREVISTI SUPERAMENTI del limite orario di biossido di azoto (NO₂)

Valore limite orario per
il biossido di azoto (NO₂)
- D.Lgs. 155/2010 - All. XI

200 µg/m³

Scala 0 m 2000 m 4000 m

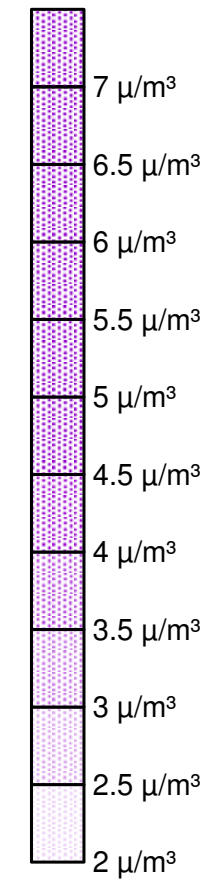
Figura 3.5 - Contributo attribuibile all'opera in progetto:
NO₂ (Concentrazione massima oraria)



LEGENDA

SCENARIO 2014

Concentrazione media annua di biossido di azoto (NO₂)



Valore limite annuo per
il biossido di azoto (NO₂)
- D.Lgs. 155/2010 - All. XI

40 μg/m³

Scala 0 m 2000 m 4000 m

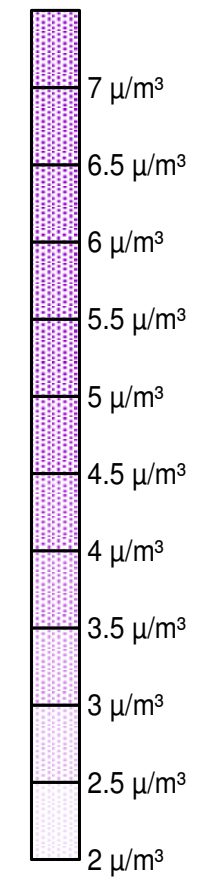
Figura 3.6 - Contributo attribuibile all'opera in progetto:
NO₂ (Concentrazione media annua)



LEGENDA

SCENARIO 2023

Concentrazione media annua di biossido di azoto (NO₂)



Valore limite annuo per
il biossido di azoto (NO₂)
- D.Lgs. 155/2010 - All. XI

40 µg/m³

Scala 0 m 2000 m 4000 m

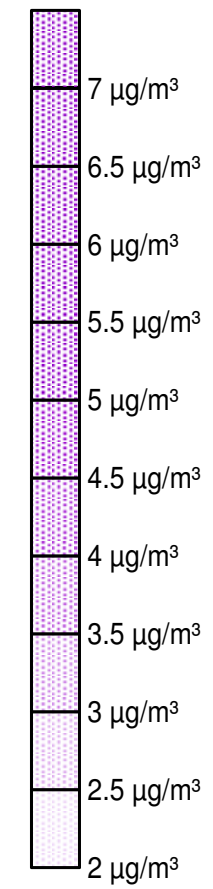
Figura 3.7 - Contributo attribuibile all'opera in progetto:
NO₂ (Concentrazione media annua)



LEGENDA

SCENARIO 2030

Concentrazione media annua di biossido di azoto (NO₂)



Valore limite annuo per
il biossido di azoto (NO₂)
- D.Lgs. 155/2010 - All. XI

40 µg/m³

Scala 0 m 2000 m 4000 m

Figura 3.8 - Contributo attribuibile all'opera in progetto:
NO₂ (Concentrazione media annua)