MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

E.N.A.C.
ENTE NAZIONALE per L'AVIAZIONE CIVILE

Committente Principale

Toscana Aeroporti

AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE - "AMERIGO VESPUCCI"

Opera

PROJECT REVIEW - PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE AL 2035

Titolo Documento Completo

ATMOSFERA

Impatti Emissioni di Gas ad Effetto Serra - Università di Pisa

Livello di Progetto

STUDIO AMBIENTALE INTEGRATO

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE COMPLETO
SAI	00	MARZO 2024	-	FLR-MPL-SAI-QVA2-009-AT-TA_Emiss GHG UniPi
				TITOLO RIDOTTO Emiss GHG UniPi

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	03/2024	EMISSIONE PER PROCEDURA VIA-VAS	UNINAPOLI	C.NALDI	L. TENERANI

COMMITTENTE PRINCIPALE	GRUPPO DI PROGETTAZIONE	SUPPORTI SPECIALISTICI
Toscana Aeroporti **ACCOUNTABLE MANAGER** Dott. Vittorio Fanti	Toscana Aeroporti engineering **DIRETTORE TECNICO** Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	IN SUPREMÆ DIGNITATIS 1343 **Dipartimento di Ingegneria Civile ed Industriale dell'Università di Pisa**
POST HOLDER PROGETTAZIONE Ing.Lorenzo Tenerani **POST HOLDER MANUTENZIONE** Ing. Nicola D'Ippolito **POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO** Geom. Luca Ermini	**RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE** **Ing. Lorenzo Tenerani** **Ordine degli ingegneri di Massa Carrara n° 631**	

È SEVERAMENTE VIETATA LA RIPRODUZIONE E/O LA CESSIONE A TERZI SENZA AUTORIZZAZIONE DELLA COMMITTENTE

CONVENZIONE TRA TOSCANA AEROPORTI ENGINEERING SRL ED IL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE ED INDUSTRIALE DELL'UNIVERSITA' DI PISA

Descrizione degli impatti generati sul clima e sui fattori climatici in seguito ad emissioni di gas ad effetto serra, nonché vulnerabilità del progetto al cambiamento climatico in seguito all'esercizio del progetto di Masterplan 2019-2035

Prof. Ing. Leonardo Tognotti
Ing. Carlo Grassi –PhD
Ing. Marlena Stradini

Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale

Codice elaborato						Scala			
Rev.	D	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	A	Data
A		DICI UniPi		DICI UniPi		Tognott		Teneran	

SOMMARIO

1 PREMESSA 3
1.1 Cambiamento climatico e gas ad effetto serra (GHG) 3
1.2 GHG e settore aeronautico 3
1.3 Airport Carbon Acrreditation (ACA) 5
1.4 Scopo dello studio 6
2 STIMA DELLE EMISSIONI 7
2.1 Individuazione delle fonti di emissione di GHG della struttura aeroportuale 7
2.2 Modello AEDT 7
2.2.1 Gas a effetto serra 8
2.2.2 Scenari considerati e dati input 8
2.2.3 Attività Aeromobili 8
2.2.4 Mezzi a terra 10
2.2.5 Sorgenti stazionarie 11
2.3 Emissioni da fonti non descritte da AEDT 12
2.4 Emissioni stimate dell'esercizio dell'aeroporto 13
2.5 Contributo del Masterplan sulle emissioni di GHG su scala territoriale locale e sovralocale 15
3 LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) 18
3.1 Introduzione 18
3.2 LCA applicata all'aeroporto di Firenze 19
3.2.1 Obiettivo dello studio 19
3.2.2 Applicazioni previste 19
3.2.3 Unità funzionale 19
3.2.4 Sistema studiato e confini del sistema 19
3.2.5 Procedimento di raccolta dei dati primari 20
3.2.6 Limitazioni e ipotesi 21
3.3 Analisi di inventario (LCI) 21
3.3.1 Realizzazione delle infrastrutture aeroportuali e degli aeromobili 21
3.3.2 Emissioni degli aeromobili 22
3.3.3 Produzione di energia, gas naturale e carburanti 26
3.4 Analisi degli impatti (LCIA) 28
3.5 Valutazione degli impatti e identificazione dei fattori significativi 29
3.6 Vulnerabilità del progetto al cambiamento climatico 31
3.7 Conclusioni dello studio LCA e vulnerabilità 34
3.7.1 Contributo al cambiamento climatico 34
3.7.2 Vulnerabilità del progetto 34

1 PREMESSA

1.1 CAMBIAMENTO CLIMATICO E GAS AD EFFETTO SERRA (GHG)

È opportuno, in premessa, richiamare i principi e gli obiettivi che permeano le attuali politiche di lotta al cambiamento climatico, come del resto chiaramente enunciato nell' *Obiettivo 13: Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico* di Agenda 2030[1].

> *"Il periodo 2011-2020 è stato il decennio più caldo mai registrato, con una temperatura media globale di 1,1ºC al di sopra dei livelli preindustriali nel 2019. Il riscaldamento globale indotto dalle attività umane è attualmente in aumento a un ritmo di 0,2ºC per decennio.*
> *Un aumento di 2ºC rispetto alla temperatura dell'epoca preindustriale è associato a gravi impatti negativi sull'ambiente naturale e sulla salute e il benessere umani, compreso un rischio molto più elevato di cambiamenti pericolosi e potenzialmente catastrofici nell'ambiente globale.*
> *Per questo motivo la comunità internazionale ha riconosciuto la necessità di mantenere il riscaldamento ben al di sotto dei 2ºC e di proseguire gli sforzi per limitarlo a 1,5ºC."*[2]

> "*Climate change affects us all and is accelerating. Its impacts will become even more severe if the increase in global temperature is not kept below 1.5°C. The EU and its Member States are taking important steps to rapidly reduce* ***greenhouse gas*** *emissions and adapt to climate change.*"[3]

I GHG possono essere di origine sia naturale che antropica. Il più importante gas a effetto serra, di origine naturale, presente nell'atmosfera è il vapore acqueo. Tuttavia, le attività umane rilasciano grandi quantità di altri gas a effetto serra, e aumentandone le concentrazioni atmosferiche, incrementano l'effetto serra e il riscaldamento climatico. In conformità al Protocollo di Kyoto, i principali gas ad effetto serra sono: anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), protossido d'azoto (N_2O), idrofluorocarburi (HFCs), esafluoruro di zolfo (SF_6) e perfluorocarburi (PFCs). La tCO_2e (tonnellata di CO_2 equivalente) permette di esprimere l'effetto serra prodotto da questi gas in riferimento all'effetto serra prodotto dalla CO_2, considerato pari a 1 (ad esempio il metano ha un potenziale serra 25 volte superiore rispetto alla CO_2, e per questo una tonnellata di metano viene contabilizzata come 25 tonnellate di CO_2e).

Le principali fonti antropiche di GHG sono: la combustione di carburanti fossili (carbone, petrolio e gas naturale) dovute alla generazione di energia elettrica, ai trasporti, al settore civile e industriale (CO_2); l'agricoltura (CH_4) e i cambiamenti nelle destinazioni del suolo, come ad esempio la deforestazione (CO_2); le discariche (CH_4); l'uso di gas fluorurati di origine industriale, etc..

1.2 GHG E SETTORE AERONAUTICO

Nel 2022 il trasporto aereo rappresentava il 2% delle emissioni globali di CO_2 legate all'energia, essendo cresciuto più rapidamente negli ultimi decenni rispetto al trasporto ferroviario, stradale o marittimo. Con la ripresa della domanda di viaggi internazionali in seguito alla pandemia di Covid-19, le emissioni del trasporto aereo nel 2022 hanno raggiunto quasi 800 Mt di CO_2, circa l'80% del livello pre-pandemia[4].

---

[1] Obiettivo 13: Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico - ONU Italia (unric.org)

[2] Le cause dei cambiamenti climatici - Commissione europea (europa.eu)

[3] Climate (europa.eu)

[4] Aviation - IEA

Negli ultimi anni il settore dell'aviazione ha intensificato i propri sforzi di decarbonizzazione. Aeroporti, compagnie aeree e Stati hanno implementato ambiziose strategie di decarbonizzazione e, nell'ottobre 2021, lo storico accordo dell'Assemblea generale dell'Organizzazione per l'aviazione civile internazionale (ICAO)[5] ha fissato l'obiettivo di zero emissioni nette di carbonio entro il 2050 per il settore dell'aviazione civile globale.

Allo scopo di soddisfare l'ambizioso obiettivo, sono necessarie diverse azioni, a diversi livelli e di operatore della filiera, quali il miglioramento e lo sviluppo tecnologico relativo a carburanti a basse emissioni (SAF), sviluppo di "cellule" e motori più efficienti e sostenibili nel ciclo di vita, ottimizzazione ed efficientamento degli scali e della loro operatività, ricerca di soluzioni di contenimento della domanda per frenare la crescita delle emissioni, etc.

Per quanto riguarda i SAF, lo scorso anno, il Consiglio e il Parlamento europeo hanno raggiunto un accordo politico provvisorio su una proposta volta a decarbonizzare il settore dell'aviazione e a creare condizioni di parità per un trasporto aereo sostenibile (iniziativa ReFuelEU Aviation)[6]. La proposta mira ad aumentare sia la domanda che l'offerta di combustibili sostenibili per l'aviazione, garantendo allo stesso tempo condizioni di parità in tutto il mercato del trasporto aereo dell'UE. Si tratta di una proposta importante per avviare il trasporto aereo sulla traiettoria degli obiettivi climatici dell'UE per il 2030 e il 2050, in quanto i combustibili sostenibili per l'aviazione sono uno dei principali strumenti a breve e medio termine per la decarbonizzazione del settore. Dovrebbe consentire di superare la situazione che ne pregiudica lo sviluppo, ovvero un basso livello di offerta e prezzi ancora di molto superiori a quelli dei combustibili fossili.

Vale la pena a questo punto citare il *Patto per la decarbonizzazione del trasporto aereo*[7], che riunisce player industriali, stakeholder istituzionali e associazioni che, guidati dagli esperti del mondo accademico, intendono proporre una *road map efficiente e sostenibile* per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione del trasporto aereo, nel contesto degli SDGs e dell'Agenda 2030, con l'obiettivo di Net Zero Emissions entro il 2050. Nel recente Manifesto[8] il Patto definisce come obiettivo primario quello di *avviare un confronto sistematico per progettare individuare un percorso scientificamente strutturato e costruire un processo realizzabile di decarbonizzazione del traporto aereo attraverso:*

- *la definizione condivisa di una metodologia organica per valutare la sostenibilità dei diversi segmenti produttivi del settore aviation e per individuare in modo razionale e trasparente punti di forza da valorizzare e punti di debolezza su cui intervenire;*
- *la valutazione di un set di obiettivi per pianificare in modo coerente e realistico la transizione, che favoriscano meccanismi virtuosi per assicurare nel breve periodo l'implementazione rapida delle soluzioni disponibili (ad esempio il Sustainable Aviation Fuel), senza mai tralasciare gli impatti positivi generati dal settore in termini sociali ed economici;*
- *lo studio del complesso quadro normativo di riferimento e il monitoraggio della sua evoluzione, individuando i possibili interventi necessari per favorire e supportare, nel medio-lungo periodo, un processo di transizione così complesso;*
- *l'adozione di politiche che consentano la necessaria espansione e lo sviluppo del trasporto aereo attraverso nuovi processi tecnologici, con la definizione di regole certe ed obiettivi chiari e vincolanti, concretamente realizzabili attraverso target intermedi, per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica.*

Il presente studio, oltre a valutare l'incidenza, in termini di emissioni di GH, delle attività aeroportuali, attuali e previste per l'Aeroporto di Firenze, ha anche lo scopo di applicare e confrontare metodologie strutturate e rigorose, condivise dal punto di vista tecnico-scientifico, per valutare le emissioni di GHG di tutta la filiera e,

[5] Home (icao.int)
[6] Il Consiglio e il Parlamento concordano di decarbonizzare il settore dell'aviazione - Consilium (europa.eu)
[7] Home - Decarbonizzazione Trasporto Aereo
[8] Manifesto-Patto-IT-9.pdf (decarbonizzazionetrasportoaereo.it)

quindi, la sostenibilità dei diversi segmenti produttivi del settore, con lo scopo finale di porre le basi per individuare in modo razionale e trasparente i principali aspetti e le criticità su cui intervenire.

1.3 AIRPORT CARBON ACCREDITATION (ACA)

Nell'ottica dei principi e degli obiettivi di decarbonizzazione del settore, l'Airports Council International (ACI) nel 2009 ha sviluppato e lanciato in Europa l'Airport Carbon Accreditation[9]. Alla fine del 2014, ACA si è esteso a livello mondiale a tutte le regioni ACI. È l'unica norma volontaria di gestione globale del carbonio per gli aeroporti. Lo scopo dell'ACA è quello di incoraggiare e consentire agli aeroporti di implementare le migliori pratiche nella gestione delle emissioni di carbonio con obiettivi di riduzione. L'accreditamento del carbonio aeroportuale si concentra sulle emissioni di CO2, poiché costituiscono la grande maggioranza delle emissioni aeroportuali. Gli aeroporti possono includere emissioni di altri gas a effetto serra (GHG) come esempio di buone pratiche. La verifica indipendente di parte terza di un verificatore accreditato costituisce una componente essenziale del programma. Gli aeroporti possono partecipare a uno dei quattro livelli di accreditamento progressivamente più rigorosi: *1. Mappatura; 2. Riduzione; 3. Ottimizzazione; e 4. Trasformazione. Inoltre, aeroporti di livello 3 e 4 possono scegliere di compensare le proprie emissioni residue, raggiungendo così il Livello 3+ (Neutralità) e Livello 4+ (Transizione) rispettivamente.*

REQUIRED ELEMENTS	Level 1 (Mapping)	Level 2 (Reduction)	Level 3 (Optimisation)	Level 3+ (Neutrality)	Level 4 (Transformation)	Level 4+ (Transition)
Policy Statement	Policy commitment to emissions reduction				Policy commitment to absolute emissions reduction	
Carbon Footprint	Emissions under Airport Control (Scope 1 & 2)		Scope 1 & 2 + selected Scope 3 emissions sources		Scope 1 & 2 + all significant operational Scope 3 emissions sources	
Target and implementation	--	Formulation of a carbon emissions reduction target (absolute or relative) for Scopes 1 & 2.			Formulation of a long-term absolute reduction target for Scope 1 & 2 or Scope 1, 2 & 3 emissions, in line with the IPCC 1.5°C or 2°C pathways	
Target trajectory	--	No target trajectory required			Definition of a target emissions trajectory and milestones leading up to the target.	

Toscana Aeroporti ha intrapreso questo percorso ed ha recentemente raggiunto il Livello 2 (*Riduzione*) ottenendo la certificazione[10] del processo di quantificazione e la rendicontazione delle emissioni di gas ad effetto serra, secondo il GHG Protocol[11] .

> *"In conformità agli standard "The Greenhouse Gas Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard" (GHG Protocol), redatto dal World Resources Institute (WRI) in collaborazione con il World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), le emissioni totali di GHG rilasciate in atmosfera per gli aeroporti "AMERIGO VESPUCCI" per*

[9] https://www.airportcarbonaccreditation.org/

[10] IMQ: ATTESTATO DI VERIFICA GREENHOUSE GAS PROTOCOL, 25 marzo 2024; *Rapporto di verifica Asserzione GHG secondo il Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)*

[11] "The Greenhouse Gas Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard" (GHG Protocol).

gli anni di riferimento 2018-2019-2021-2022, derivanti dalle attività svolte da TOSCANA AEROPORTI SPA, sono classificate e suddivise (in valore assoluto e % sul totale) in emissioni dirette e indirette secondo le categorie seguenti:

	2018	2019	2021	2022
FIRENZE - Emissioni totali (tCO_2eq)	**3115,7**	**3.037,4**	**2.406,5**	**2.889,7**
Scope 1 - FIRENZE	1089,8 (35%)	957 (31.51%)	652,2 (27.10%)	811,1(28.07%)
Scope 2- FIRENZE	2025,9 (65%)	2.080,4 (68.49%)	1.754,3 (72.90%)	2.078,6 (71.93%)

- *Emissioni di GHG dirette (Scope1): combustione stazionaria, combustione mobile, emissioni fuggitive di gas refrigeranti dagli impianti di condizionamento presenti nei due siti, emissioni dirette connesse all'attività di de-icing, emissioni derivanti dalla depurazione della materia organica all'interno del depuratore gestito dall'Organizzazione.*
- *Emissioni indirette di GHG da energia importata (Scope 2): emissioni derivanti dalla produzione di energia elettrica utilizzata per le attività svolte*
- *Altre emissioni indirette (Scope 3): escluse dalla quantificazione.*

La metodologia di contabilizzazione della CO2eq utilizzata dall'azienda TOSCANA AEROPORTI SPA è quella del calcolo basata sulla moltiplicazione tra il "Dato attività", che quantifica l'attività, e il corrispondente "Fattore di emissione".

1.4 SCOPO DELLO STUDIO

Il presente studio ha lo scopo di valutare gli effetti ambientali prodotti dalle emissioni di gas climalteranti correlate alla Project Review del Piano di Sviluppo Aeroportuale di Firenze al 2035.
Ai fini delle valutazioni risulta di prioritaria importanza la stima delle tipologie di emissioni, peraltro già sinteticamente presente all'interno della documentazione del procedimento di compatibilità ambientale. Nella prima sezione del presente studio si sono analizzate e verificate le stime numeriche delle emissioni riportate nella documentazione del procedimento, provvedendo, laddove ritenuto necessario e/o opportuno, a specifici approfondimenti, in modo da definire un quadro conoscitivo organico e completo. Vengono, pertanto, ripercorse le fasi analitiche di stima delle emissioni di gas climalteranti, da intendersi tutte adeguatamente verificate e analizzate dallo scrivente Dipartimento.
Con l'intento di pervenire ad una oggettiva quantificazione dell'impatto generato dal progetto sul fattore ambientale clima, si è successivamente provveduto all'applicazione diretta della consolidata e standardizzata procedura LCA. Scopo del presente documento è quindi anche quello di porre le basi per estendere la valutazione verso l'accreditamento dell'aeroporto di Firenze verso livelli superiori, identificando e implementando metodologie condivise di quantifica delle emissioni indirette (Scope 3), come descritto nel corso della presente relazione.

2 STIMA DELLE EMISSIONI

2.1 INDIVIDUAZIONE DELLE FONTI DI EMISSIONE DI GHG DELLA STRUTTURA AEROPORTUALE

Per valutare l'impatto della nuova configurazione dell'aeroporto Amerigo Vespucci di Firenze sulle emissioni di GHG sono state individuate le principali fonti di gas a effetto serra, di seguito elencate:

- Attività degli aeromobili
- Consumi di energia elettrica
- Combustione di metano per riscaldamento
- Stoccaggio carburanti
- Emissioni mezzi a terra

Per la stima delle emissioni sono stati utilizzati due approcci: dove possibile è stato utilizzato il modello AEDT 3e di simulazione delle emissioni. Per le fonti di GHG non modellizzate le emissioni sono state stimate a partire dai dati di consumo di energia e carburante.

Fonte emissione	GHG	Metodo stima emissioni
Attività degli aeromobili	CO_2 e CH_4	AEDT
Consumi di energia elettrica	CO_2	EF su consumi totali
Combustione di metano (riscaldamento)	CO_2	EF su consumi totali
Stoccaggio carburanti	CH_4	AEDT
Emissioni mezzi a terra	CO_2	EF su consumi totali
Emissioni mezzi a terra	CH_4	AEDT

2.2 MODELLO AEDT

Il nuovo Master Plan Aeroportuale definisce gli interventi strutturali e funzionali necessari allo sviluppo e all'ammodernamento dell'intero sistema aeroportuale dell'aeroporto Amerigo Vespucci di Firenze.
Per valutare l'impatto della nuova configurazione sull'atmosfera, è stato utilizzato AEDT 3e (Aviation Environmental Design Tool)[12], un modello di simulazione utilizzabile per studiare il trasporto e la dispersione degli inquinanti in atmosfera realizzato all'inizio degli anni '90 dalla FAA (Federal Aviation Administration) in collaborazione con la USAF (U.S. Air Force)[13]. Il modello viene costantemente aggiornato al fine di garantire risultati sempre più attendibili. La versione utilizzata per le simulazioni è l'AEDT 3e May 9, 2022.
La sua struttura prevede une serie di sottomodelli in grado di considerare e valutare le emissioni generate dalle sorgenti aeroportuali. Si possono distinguere due grossi moduli, uno relativo alla trattazione dei fenomeni di emissione (Emission Module) e l'altro relativo alla dispersione degli inquinanti in atmosfera (Dispersion Module). Nel primo modulo avviene la stima della quantità e delle tipologie di inquinanti immesse in atmosfera da ogni singola sorgente. Una volta determinata la quantità di inquinante in atmosfera, il secondo modulo considera i processi fisici legati alle condizioni meteorologiche a cui ciascun inquinante è sottoposto e effettua una stima delle concentrazioni degli inquinanti nei siti indicati come recettori.
Per applicare il modello è necessaria un inventario dettagliato di tutte le attività presenti all'interno del sedime aeroportuale che emettano inquinanti atmosferici, contribuendo in quantità più o meno significativa all'alterazione delle condizioni di qualità dell'aria locale.
Utilizzando metodologie approvate dall'EPA, il primo modulo del programma fornisce, quindi, una panoramica delle emissioni prodotte dalle varie sorgenti presenti in una struttura aeroportuale, quali gli

[12] AEDT: Product Information (faa.gov)

[13] FAA (2004) 'Emissions and dispersion modelling system'. (EDMS) User's Manual FAA-AEE-04-02 (Rev. 1 –10/28/04) Federal Aviation Administration Office of Environment and Energy, Washington, DC September 2004.

.

aeromobili e tutti i veicoli a motore, ed una serie di sorgenti stazionarie come le centrali termiche o i serbatoi di carburante.
Il secondo modulo del software viene utilizzato per stimare la dispersione degli inquinanti.

2.2.1 Gas a effetto serra

Il modello AEDT include nell'elaborazione diverse tipologie di inquinanti, tra questi i gas a effetto serra presenti nel modello sono i seguenti:

- Anidride Carbonica (CO_2)
- Metano (CH_4)

2.2.2 Scenari considerati e dati input

La simulazione è stata svolta considerando due diversi scenari:

1. scenario attuale (rif. 2019);
2. scenario al 2035: anno in cui si prevede il consolidamento dell'offerta aeroportuale.

Nel Masterplan vengono riportati i movimenti/anno degli aerei previsti per gli anni relativi agli scenari considerati:

Tabella 1 Movimenti aerei previsti nel periodo 2019 -2035

Scenario Medio (B)	Movimenti/anno	Passeggeri/anno
2019	36.136	2.874.233
2035	48.948	5.863.406

Il modello AEDT richiede l'inserimento di alcuni dati riguardanti tutte le attività che si svolgono all'interno dell'aeroporto. Tali dati riguardano la tipologia di aerei che utilizzano le piste ed i loro movimenti annui, il traffico stradale e l'utilizzo dei parcheggi, le sorgenti stazionarie eventualmente presenti nell'aeroporto, le operazioni di assistenza svolte dai mezzi a terra.
I dati richiesti sono stati ricavati dal Masterplan e dalle indicazioni fornite dai responsabili della gestione aeroportuale. Nel caso in cui alcuni dati non fossero risultati disponibili, sono state fatte delle assunzioni basandosi sullo scenario attuale e sulle ipotesi di crescita dell'attività aeroportuale conseguente alla realizzazione delle opere previste nel Masterplan.
Nei paragrafi seguenti vengono riportati i dati di input inseriti nel modello per ogni scenario analizzato.

2.2.3 Attività Aeromobili

Il modello richiede l'inserimento delle caratteristiche degli aeromobili considerati nella simulazione. Per ogni aereo AEDT richiede i seguenti input:

- Il modello, il tipo di aereo e il tipo di motore presente
- Il numero annuale di voli effettuato (cicli LTO – Landing-Takeoff)
- I profili operativi per ciascun quarto d'ora del giorno, per ogni giorno della settimana e per ogni mese dell'anno
- Il tempo richiesto per ogni fase operativa (Taxi Out, Takeoff, Climbout, Approach, Landing Roll, Taxi In)
- I mezzi a terra assegnati a ogni aeromobile

I dati relativi alle tipologie di aeromobile per lo stato attuale (anno 2019) sono stati forniti da Toscana Aeroporti – Aeroporto di Firenze mentre per i dati relativi ai due scenari futuri sono stati ricavati dal Masterplan. Nelle tabelle seguenti sono riportate le tipologie di aereo per i due scenari e i movimenti/anno:

Tabella 2 Numero annuale di voli effettuato per ogni tipologia di aereo nell'anno 2019

Tipologia di aeromobili inseriti nel modello AEDT per lo stato attuale su base dati 2019	*Cicli LTO*
A20N	0
A318	3483
A319	10626
AT43	0
B733	88
B734	146
B735	527
B737	0
B738	29
BCS1	1112
CRJ2	29
DH8D	527
E170	381
E175	615
E190	6821
E195	4889
F100	0
G280	29
RJ85	0
A109	117
AS65	55
BE40	48
C172	96
C206	316
C207	69
C25A	82
C25B	220
C510	55
C525	124
C550	275
C56X	89
C650	597
C680	185
C68A	55
CL30	55
CL35	213
CL60	199
E135	130
E35L	55
E50P	254
E55P	281
F2TH	192
F900	62
FA7X	69

FA90	48
GL5T	117
GLEX	213
GLF4	82
GLF5	158
GLF6	178
H25B	110
LJ40	48
M20P	130
P180	69
PC12	178
TAMP	872
Totale complessivo	36.136

Tabella 3 - Numero annuale di voli previsti per tipologia di aereo nell'anno 2019 e 2035

Tipologia aeromobile	*Cicli LTO*	
	Anno 2019	Anno 2035
A20N	4	//
A318	3469	//
A319	10615	2242
A320	//	13903
A321	//	897
AT43	2	//
B733	96	//
B734	142	//
B735	534	//
B737	2	//
B738	18	10315
BCS1	1104	//
BCS3	//	3588
CRJ2	28	//
DH8D	514	//
E170	382	//
E175	624	//
E190	6818	4036
E195	4887	10315
F100	10	//
G280	20	//
RJ85	4	//

Per ogni aeromobile è stata indicata la pista di atterraggio e decollo ed i percorsi schematizzati per spostarsi dal gate alla pista e viceversa.

Per quanto riguarda i profili operativi e i tempi richiesti dalle varie fasi operative, sono stati utilizzati i tempi calcolati da AEDT sulla base delle caratteristiche dell'aeromobile scelto e del tipo di pista.

2.2.4 Mezzi a terra

I mezzi GSE (Ground Support Equipment) sono i mezzi che affiancano l'aereo dal momento dell'atterraggio fino al successivo decollo, come i mezzi di trasporto per l'imbarco dei passeggeri, i mezzi adibiti al carico e scarico merci, i rimorchiatori degli aeromobili che li guidano negli spostamenti, i de-icers ecc…

AEDT richiede l'inserimento della tipologia di mezzo, dei tempi di utilizzo, dei profili operativi e richiede l'assegnazione dei gates in cui i mezzi operano. Con tali informazioni, il software ripartisce le emissioni dei mezzi nei gates relativi, in base al tempo di funzionamento e ai profili operativi.
I dati richiesti per gli scenari considerati sono stati forniti da Aeroporto di Firenze.
Di seguito sono riportate le ore/anno di utilizzo per ciascun mezzo per i due scenari considerati:

Tabella 4- Ore di impiego all'anno di ogni mezzo a terra per ciascuno scenario in esame

Mezzi a terra (GSE)	2019	2035
	Ore/anno	Ore/anno
Mezzi interpista	8.070	12.108
Belt loader	2.009	3.014
Baggage tractor	2.009	3.014
Passenger stand	1.614	2.422
Cargo Loader	473	709
Air Start Unit	8	12
Aircraft Tractor	591	887
GPU	8.070	12107
Fuel truck	2.690	4.036
Cabin service truck	912	912
Catering	1.345	2.018
Water service	1.076	1.614
Deicing	17	17
Service truck	6.265	9.398
Service truck	1.655	2.482

2.2.5 Sorgenti stazionarie

Le sorgenti stazionarie presenti all'interno dell'area aeroportuale di Peretola sono state identificate nelle centrali termiche alimentate a metano e nei serbatoi di carburante. Per quanto riguarda lo stato attuale al 2019, sono state inserite sette centrali termiche.

Tabella 5- Sorgenti stazionarie presenti all'interno dell'aeroporto di Firenze

Edificio	Destinazione d'uso	Marca	Potenza Nominale (Kw)	Tipologia	Tiraggio	Combustibile	Tipologia Evacuazione Fumi
Ground Safety	Riscaldamento	Pensotti	27.5	Tradizionale		Metano G20	Camino Singolo
ENAC	Riscaldamento	Nd	200	Tradizionale	Forzato	Metano G20	Camino Singolo
VVFF	Riscaldamento	Nd	200	Tradizionale	Forzato	Metano G20	Camino Singolo
A. Partenze	Riscaldamento	RIELLO	151	Tradizionale	Forzato	Metano G20	Camino Singolo
A. Partenze	Riscaldamento	RIELLO	151	Tradizionale	Forzato	Metano G20	Camino Singolo
A. Arrivi/Partenze	Riscaldamento	ICI	400	Tradizionale	Forzato	Metano G20	Camino Singolo
A. Arrivi/Partenze	Riscaldamento	ICI	400	Tradizionale	Forzato	Metano G20	Camino Singolo

Lo scenario al 2035 contempla un solo impianto a combustibile (gas naturale) costituito da cogeneratore. I dati relativi al diametro e all'altezza dei camini e alla temperatura dei fumi sono stati forniti da Toscana Aeroporti.

Edificio	Destinazione d'uso	Marca	Potenza nominale [kW]	Tipologia	Tiraggio	Combustibile	Tipologia Evacuazione fumi	Diam. Evacuazione Fumi (mm)	Altezza da Solaio C.T. (cm)	Numero unità
Nuova Aerostazione	Raffrescamento	Climaveneta	1099	Chiller	-	Elettrico	-	-	-	3
Nuova Aerostazione	Raffrescamento/Riscaldamento	Climaveneta	920,9	PDC	-	Elettrico	-	-	-	2
Nuova Aerostazione	Raffrescamento/Riscaldamento	Climaveneta	570	PDC	-	Elettrico	-	-	-	2
Nuova Aerostazione	Riscaldamento/ACS	Hoval	375	Cogeneratore	Forzato	Metano	Camino singolo	300	400	2
Nuova Aerostazione	ACS	Climaveneta	266	PDC	-	Elettrico	-	-	-	1

I dati inseriti nel modello relativi ai depositi di carburante sono stati invece ricavati dal Masterplan. I depositi presenti sono due, ubicati nell'area ovest dell'aeroporto, contengono rispettivamente carburante tipo AVGAS e tipo Jet1.

Tabella 6: Litri di carburante stoccato nei depositi ubicati nell'area ovest dell'aeroporto per i tre scenari

	Litri di carburante stoccati	
	2019	***2035***
Serbatoio AVGAS	*60.000*	*80.000*
Serbatoio Jet1	*500.000*	*1.300.000*

2.3 EMISSIONI DA FONTI NON DESCRITTE DA AEDT

La stima delle emissioni di GHG per le fonti non inserite nel modello AEDT è stata effettuata a partire dai dati di consumo registrati per il 2019 e riportati in tabella:

Tabella 7: Consumi per fonte energia aeroporto

Fonte	Unità di misura	Quantità (2019)
Energia elettrica	kWh	8'170'260
Metano	m^3	265'698
Gasolio	litri	145'646

I fattori di emissione utilizzati sono quelli pubblicati dall'ISPRA[14].

Le emissioni di anidride carbonica dovute alla combustione del gas naturale nella caldaia sono calcolate grazie al coefficiente di emissione di CO_2 riportato nella tabella *parametri standard* pari a 2.0384 kg CO2eq/Sm^3 estratto da DEFRA version 1.1 2023[15] (Natural Gas).

Le emissioni di anidride carbonica dovute alla combustione di gasolio per autotrazione sono calcolate grazie al coefficiente di emissione di CO_2 riportato nella banca dati dei fattori di emissione medi pari a 2.6594 kgCO2e/litro - DEFRA version 1.1 2023 (Diesel - 100% mineral diesel). Per quanto riguarda la quota di biodiesel si è fatto riferimento ad un valori di 2.4788 kgCO2e/litro - DEFRA version 1.1 2023 (Diesel - avg. biofuel blended).

Le emissioni di anidride carbonica dovute al consumo di energia elettrica sono pari a 0.2546 kg di CO_2/KWh[16]

[14] rapporto_384_2023_le-emissioni-di-gas-serra-in-italia.pdf (isprambiente.gov.it)

[15] Greenhouse gas reporting: conversion factors 2023 - GOV.UK (www.gov.uk)

[16] ISPRA 2021 Fattori-emissione-produzione-e-consumo-elettricita_2021-V2 – (r363-2022).

Le emissioni riguardo ai consumi di energia elettrica nei due scenari futuri sono state stimate in rapporto ai movimenti annui. Le emissioni da combustione di metano sono state stimate secondo il numero di centrali termiche previste. Le emissioni dei GSE sono state stimate in base alle ore di lavoro previste.

2.4 EMISSIONI STIMATE DELL'ESERCIZIO DELL'AEROPORTO

In tabella 8 sono riportate le emissioni aeroportuali stimate per l'aeroporto di Peretola, espresse in tonnellate/anno di CO_2e, per lo stato attuale (2019) e per lo scenario di progetto (2035).

Tabella 8 - Emissioni totali per gli scenari considerati

Emissioni di CO_2e [t/ anno]							
Anno	**Movimenti/anno**	**Aeromobili**	**Energia elettrica**	**Combustione metano**	**Stoccaggio carburante**	**Mezzi a terra**	**TOTALE**
2019	36'136	35185.0	2080.4	541.6	0.4	385.6	38193.0
2035	48'948	45916.0	2818.1	721.3	0.7	161.2[1]	49617.3

[1] nel progetto è prevista l'elettrificazione di circa 80% dei mezzi a terra che consumano diesel.

Come riportato anche nel *Guidance Manual: Airport Greenhouse Gas Emissions Management* pubblicato da Airport Council International[17], il contributo alle emissioni di GHG da parte delle strutture aeroportuali è da addebitarsi circa il 90% alle attività degli aeromobili, mentre le emissioni dirette (Scopo 1) e indirette da energia importata (Scopo 2) non sono significative in un'ottica globale.

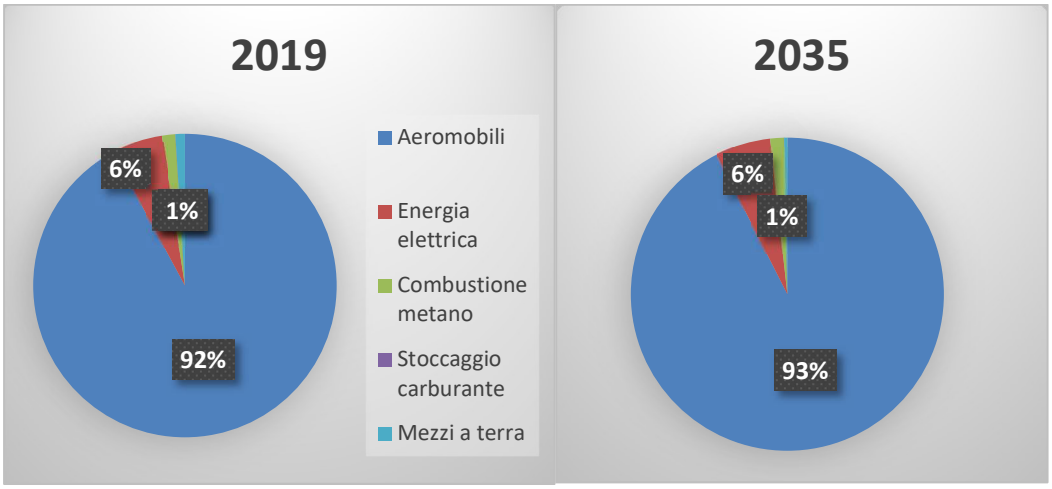


Figura 1: - a) Ripartizione percentuale fonti emissione;

[17] Guidance Manual: Airport Greenhouse Gas Emissions Management - Store | ACI World

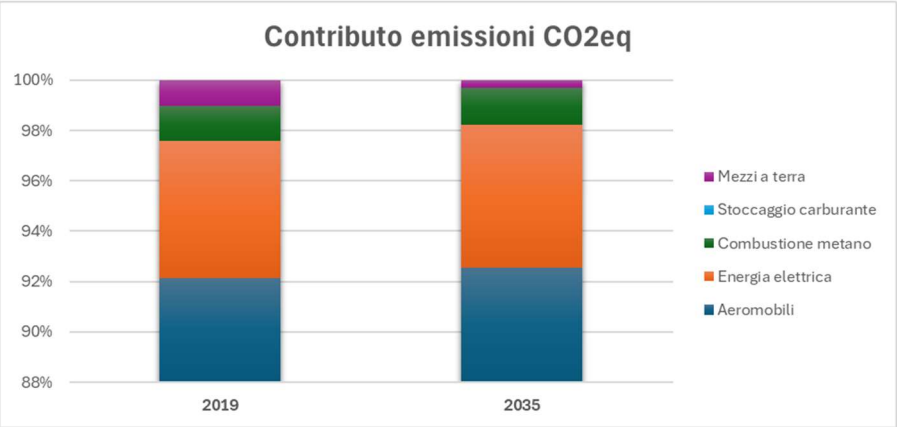


Figura 1: b) Zoom sui contributi meno significativi

2.5 CONTRIBUTO DEL MASTERPLAN SULLE EMISSIONI DI GHG SU SCALA TERRITORIALE LOCALE E SOVRALOCALE

La stima delle emissioni di GHG dall'esercizio della nuova configurazione dell'aeroporto di Firenze è da considerarsi marginale rispetto alle valutazioni delle emissioni di GHG su scala locale. Infatti, i dati disponibili dall'IRSE (Inventario Regionale sulle Sorgenti di Emissione in aria ambiente IRSE[18] - *Emissioni inquinanti e gas serra. Aggiornamento anno 2017*) permettono di quantificare il contributo dell'aerostazione e dei cicli LTO al totale locale sia a scala comunale che di Piana Fiorentina.

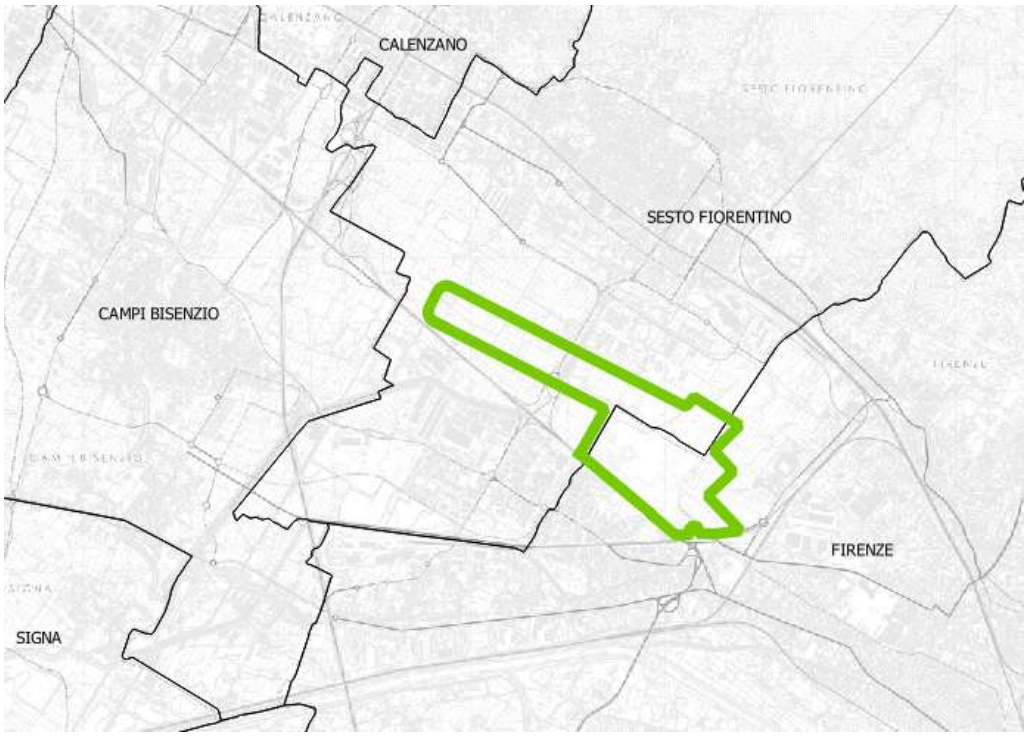


Figura 1 localizzazione della nuova pista di Peretola con evidenza dei Comuni confinanti.

Nelle seguenti tabelle si mostrano i dati desunti dall'IRSE per i gas GHG quali CO2 e CH4 per i comuni oggetto della valutazione.

Tabella 9 Emissioni di GHG per il Comune di Firenze – IRSE Regione Toscana.

Anno	Comune	CH4 (ton)	CO2 (ton)
1995	048017 Firenze	3115,45	1321789,95
2000	048017 Firenze	2626,43	1246954,76
2003	048017 Firenze	2285,52	1341923,95
2005	048017 Firenze	1934,39	1340017,80
2007	048017 Firenze	1659,43	1283756,17
2010	048017 Firenze	1769,43	1168809,40
2017	048017 Firenze	1408,29	1230925,26

Tabella 10 Emissioni di GHG per il Comune di Sesto Fiorentino – IRSE Regione Toscana.

Anno	Comune	CH4 (ton)	CO2 (ton)
1995	048043 Sesto Fiorentino	2044,38	151300,21
2000	048043 Sesto Fiorentino	4531,25	157332,81
2003	048043 Sesto Fiorentino	5377,02	117407,87
2005	048043 Sesto Fiorentino	1684,72	126249,59
2007	048043 Sesto Fiorentino	1853,44	184164,13

[18] Inventario Regionale sulle Sorgenti di Emissione in aria ambiente IRSE - Regione Toscana

2010	048043 Sesto Fiorentino	1891,42	210905,19
2017	048043 Sesto Fiorentino	1658,57	169540,12

Tabella 11 Emissioni di GHG per il Comune di Campi Bisenzio – IRSE Regione Toscana.

Anno	Comune	CH4 (ton)	CO2 (ton)
1995	048006 Campi Bisenzio	264,90	147167,82
2000	048006 Campi Bisenzio	331,12	170533,03
2003	048006 Campi Bisenzio	161,45	155190,69
2005	048006 Campi Bisenzio	206,00	153840,30
2007	048006 Campi Bisenzio	286,66	197547,46
2010	048006 Campi Bisenzio	254,21	210467,97
2017	048006 Campi Bisenzio	226,18	184432,44

Tabella 12 Emissioni di GHG per il Comune di Lastra a Signa – IRSE Regione Toscana.

Anno	Comune	CH4 (ton)	CO2 (ton)
1995	048024 Lastra a Signa	1593,84	66332,57
2000	048024 Lastra a Signa	1716,96	69296,66
2003	048024 Lastra a Signa	1453,22	72808,29
2005	048024 Lastra a Signa	1237,38	74898,06
2007	048024 Lastra a Signa	1062,12	76026,26
2010	048024 Lastra a Signa	879,49	72613,48
2017	048024 Lastra a Signa	132,60	74041,12

Tabella 13 Emissioni di GHG per il Comune di Signa – IRSE Regione Toscana.

Anno	Comune	CH4 (ton)	CO2 (ton)
1995	048044 Signa	53,65	43433,26
2000	048044 Signa	104,74	46419,45
2003	048044 Signa	91,99	48552,40
2005	048044 Signa	48,11	42216,03
2007	048044 Signa	85,86	53101,18
2010	048044 Signa	90,59	52163,29
2017	048044 Signa	86,20	50542,26

Tabella 14 Emissioni di GHG per il Comune di Calenzano – IRSE Regione Toscana.

Anno	Comune	CH4 (ton)	CO2 (ton)
1995	048005 Calenzano	263,45	312481,56
2000	048005 Calenzano	220,01	314874,02
2003	048005 Calenzano	207,80	299608,76
2005	048005 Calenzano	97,38	276503,39
2007	048005 Calenzano	180,16	247562,87
2010	048005 Calenzano	185,52	170963,14
2017	048005 Calenzano	150,26	154663,72

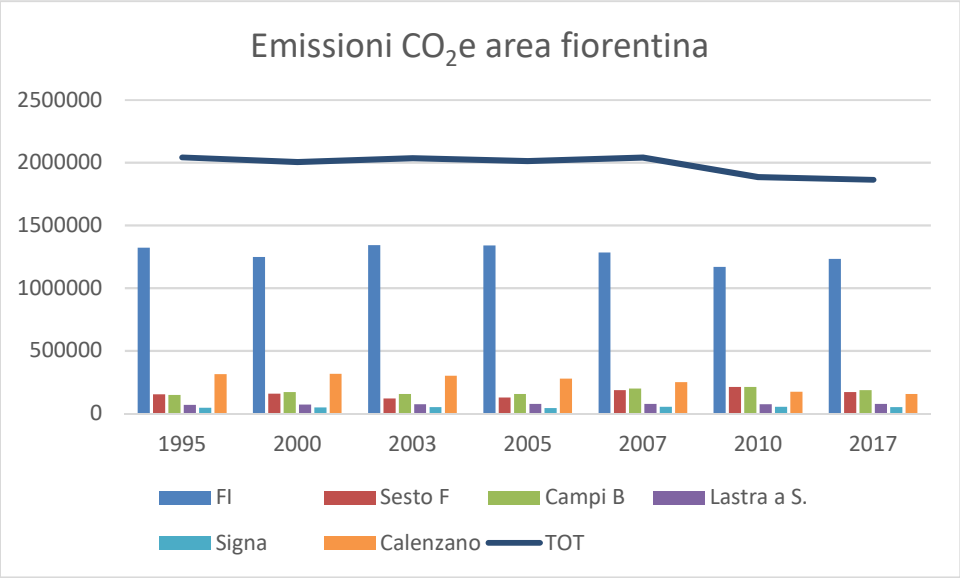


Figura 3 Emissione CO2 area fiorentina (IRSA)

Il contributo delle emissioni totali di CO_2 dall'esercizio dell'Aeroporto di Peretola nelle configurazioni di MASTERPLAN proposto nel progetto non supera il 3% per la proiezione al 2035 del totale delle emissioni dell'area vasta intercomunale. Le emissioni di CO_2 considerate nello studio sono quelle associate non solo a tutto il ciclo LTO ma anche all'operatività dell'aerostazione e alla percorrenza delle rotte fino a 1000 m sls per cui possono considerarsi conservative.

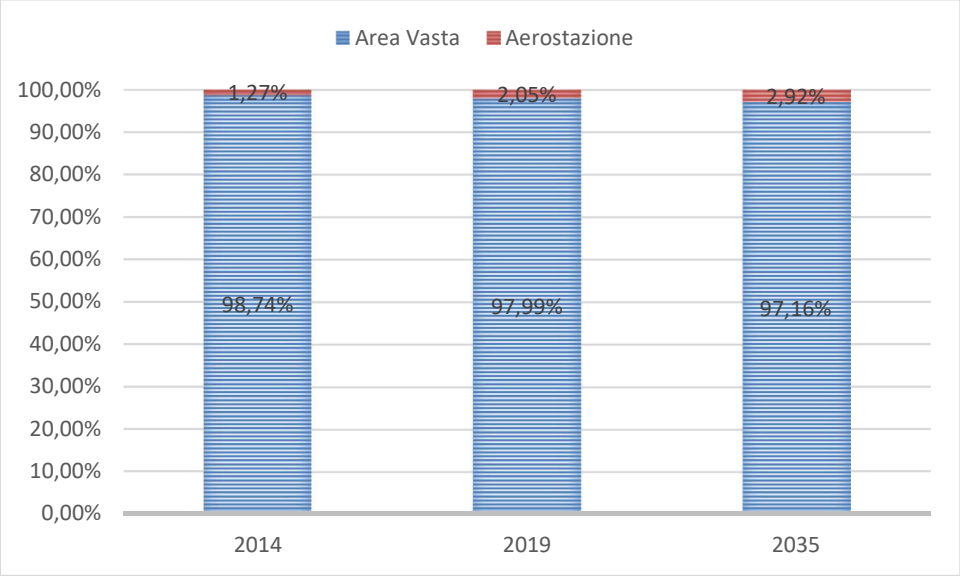


Figura 4: Contributo percentuale aeroporto su area fiorentina

3 LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

3.1 INTRODUZIONE

Negli ultimi anni è andata aumentando l'attenzione nei confronti di problematiche di carattere ambientale, e ciò ha sollecitato lo sviluppo di metodi e tecniche che permettano di comprendere, valutare e conseguentemente ridurre i possibili impatti sia di prodotti e servizi e che allo stesso tempo permettano una comunicazione efficace delle loro performance ambientali. La valutazione del ciclo di vita (Life Cycle Assessment) di un prodotto o servizio è uno strumento che risponde a molte di queste necessità.

La valutazione del ciclo di vita nacque negli anni '60 in ambito industriale, al fine di valutare l'impatto ambientale relativo alla produzione; ma cominciò solo negli anni '70 a essere utilizzata al di fuori del settore industriale e presto divenne evidente la necessità di una metodologia univoca e standardizzata. Il dibattito scientifico fu portato avanti sotto il patrocinio della SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)[19], e uno dei risultati più importanti fu la pubblicazione di un quadro di riferimento internazionale:

"*Una LCA è un procedimento oggettivo che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia ed emissioni nell'ambiente, e l'identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti. L'analisi riguarda l'intero ciclo di vita del prodotto ("dalla culla alla tomba"): dall'estrazione e trattamento delle materie prime, alla produzione, trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo e allo smaltimento finale*." [SETAC, 1993]

In uno studio LCA quindi un prodotto va seguito e analizzato in ogni fase della sua vita, dalla culla alla tomba, da quando è prodotto a quando è smaltito, in quanto ogni azione associata ad una fase può avere riflessi su quelle precedenti o successive. Il sistema industriale è separato dal sistema ambientale da confini fisici ben definiti ed è a esso collegato grazie allo scambio di input ed output.

In quest'ottica, l'ambiente non è quindi quello naturale definito dall'ecologia, ma è tutto ciò che sta all'esterno del sistema considerato.

In un modello LCA risulta chiaro come gli input del sistema siano parametri che intervengono nel dibattito sui problemi di risparmio delle risorse, mentre gli output riguardano i problemi di inquinamento.

Ne consegue che più che descrivere il prodotto, un'LCA descrive il sistema che lo genera. Un'LCA, quindi, è fondamentalmente una tecnica quantitativa che permette di determinare i fattori in ingresso (materie prime, uso di risorse, energia, acqua) e in uscita (consumi energetici, scarichi idrici, produzione di rifiuti, emissioni inquinanti) dal ciclo di vita di ciascun prodotto valutandone i conseguenti impatti ambientali.

L'LCA valuta i potenziali impatti ambientali di produzione/sistema/servizio relativi alla salute umana, alla qualità dell'ecosistema e all'impoverimento delle risorse. Con lo scopo di definire un quadro delle interazioni di un prodotto o di un servizio con l'ambiente che lo circonda, al fine di comprendere le conseguenze ambientali causate direttamente o indirettamente e di fornire le informazioni necessarie a valutare i comportamenti e gli effetti ambientali di una attività e a identificare le opportunità di miglioramento e di gestione di prodotti e servizi, al fine di raggiungere le migliori soluzioni per intervenire sulle condizioni ambientali.

[19] SETAC

Lo studio LCA ha anche il vantaggio di poter individuare facilmente le fasi e i sottoprocessi che rappresentano le maggiori criticità dell'intero sistema e quindi di fornire le informazioni necessarie ad indirizzare gli interventi di mitigazione e miglioramento della performance ambientale.

Infine, l'LCA si afferma come strumento adatto a comparare due o più prodotti, sistemi o servizi alternativi.

3.2 LCA APPLICATA ALL'AEROPORTO DI FIRENZE

3.2.1 Obiettivo dello studio

L'obiettivo dello studio è la valutazione degli impatti sul cambiamento climatico dell'aeroporto di Firenze utilizzando la metodologia scientifica dell'analisi del ciclo di vita o *Life Cycle Assessment* (LCA).

Per l'elaborazione dello studio LCA sono state seguite le indicazioni riportate nelle "*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*" (IPCC, 2006 e revisione 2019)[20] e nel "*Guidebook on Preparing Airport Greenhouse Gas Emissions Inventories*" (Airport Cooperative Research Program ACRP, 2009)[21].

Il sistema studiato include la produzione di energia elettrica, gas naturale e carburanti utilizzati, le emissioni dirette legate alla combustione di metano e carburante sia all'interno dell'aeroporto che durante i voli, una stima delle emissioni legate alla realizzazione delle infrastrutture e dei velivoli.

3.2.2 Applicazioni previste

Il presente studio LCA oltre a fornire gli strumenti di monitoraggio interno delle prestazioni ambientali, costituisce una base di confronto tra le diverse configurazioni del progetto di Masterplan 2019-2035 dell'Aeroporto di Firenze e offre la possibilità di confronto con servizi di trasporto alternativi.

La funzione del sistema è il trasporto di passeggeri per via aerea con partenza dall'Aeroporto di Firenze.

3.2.3 Unità funzionale

Lo studio LCA è articolato con più unità funzionali. Vengono riportate le performance ambientali dei 2 scenari del Masterplan (relativi agli anni 2019 e 2035) per il totale annuo di passeggeri trasportati e per singolo passeggero (valore medio).

3.2.4 Sistema studiato e confini del sistema

Dato che gli effetti delle emissioni di gas ad effetto serra (GHG) hanno una natura globale, non ci sono confini del sistema aeroportuale geograficamente definiti come per altri inquinanti (ad effetto locale). Le emissioni di GHG dalle fonti individuate e comprese all'interno dello studio devono essere considerate indipendentemente da dove avvengono.

Per quanto riguarda gli aeromobili le linee guida IPCC raccomandano quindi di prendere in considerazione le emissioni dell'intero volo (gate to gate). In particolare, le emissioni del volo sono attribuite all'aeroporto di partenza, in modo da non incorrere in doppi conteggi tra più aeroporti.

[20] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — IPCC

[21] ACRP Report 11: Guidebook on Preparing Airport Greenhouse Gas Emissions Inventories – Airport Air Quality Resource Library (trb.org)

Il sistema studiato comprende le emissioni generate dalle seguenti fonti:

Fonte di emissione	Tipologia	Metodo di calcolo
Realizzazione delle infrastrutture aeroportuali	Consumo di energia e produzione materie prime	EI 3.8
Costruzione degli aeromobili utilizzati	Consumo di energia e produzione materie prime	EI 3.8
Aeromobili durante il ciclo LTO	Combustione	IPCC
Aeromobili durante il volo (gate to gate solamente dei velivoli in partenza da Aeroporto di Firenze)	Combustione	IPCC
Produzione di energia elettrica, gas naturale, carburanti consumati da AdF	Consumo di energia e produzione materie prime	EI 3.8
Combustione gas naturale all'interno di AdF	Combustione	EI 3.8
Stoccaggio carburanti	Perdite di CH4	AEDT 3e
GSE	Combustione	AEDT 3e /EI 3.8

Tabella 15: Metodi di calcolo per tipologia di fonti emissive

Le emissioni di GHG del settore dei trasporti aerei sono in gran parte dovuti alla combustione di jet fuel. Le emissioni dei motori degli aeromobili sono composte per circa il 70% da CO_2, poco meno del 30% da H_2O e meno del 1% da NO_X, CO, SO_X, NMVOC, particolato e altri componenti in tracce.

Le emissioni di protossido d'azoto (N_2O) dai motori di recente generazione sono marginali o del tutto assenti, così come quelle di metano (CH_4). [IPCC, 1999]

Le emissioni dipendono dal numero e tipo di operazioni dei velivoli, dalla loro efficienza, dal carburante utilizzato, da lunghezza del volo e potenza utilizzata, dal tempo impiegato nelle varie fasi di volo e in minor misura dall'altitudine a cui i gas esausti vengono rilasciati.

Per i fini di questo studio le operazioni degli aeromobili sono divise in:

1- Landing/Take-Off cycle (LTO)
2- Climb – Cruise – Descent (CCD)

Generalmente circa il 10% delle emissioni dei velivoli, fatta eccezione per gli idrocarburi e il monossido di carbonio (CO), avvengono durante le operazioni a terra e i cicli LTO. Il restante 90% avviene invece durante il volo. [FAA, 2004]

3.2.5 Procedimento di raccolta dei dati primari

In conformità con le indicazioni della normativa di riferimento la fonte principale di informazioni per l'elaborazione del presente studio LCA è costituita da dati specifici relativi alle emissioni e ai consumi riguardanti i processi sui quali Aeroporto di Firenze può esercitare un'influenza diretta.

La raccolta dei dati primari è riferita all'anno solare 2019. Per lo scenario riguardanti gli anni 2035 sono state effettuate delle stime a partire dai dati disponibili.

I dati per la rappresentazione delle forniture a monte del sistema, per la produzione di infrastrutture e mezzi sono dati secondari di banca dati Ecoinvent 3.8[22].

[22] Database - ecoinvent

3.2.6 Limitazioni e ipotesi

Il presente studio LCA, trattandosi di un modello scientifico, rappresenta la semplificazione della realtà di un sistema fisico complesso, da cui non si può ottenere una precisa e completa raffigurazione di ogni effetto sull'ambiente.

I risultati e i valori di impatto ambientale del LCIA restano comunque espressioni "relative" e non prevedono impatti sulle finalità di categoria, superamenti di soglie, margini di sicurezza o rischi e non incidono sulle funzioni prestazionali di un prodotto rispetto ad un altro.

I dati che non è stato possibile inserire nel modello sono stati ritenuti avere un impatto marginale.

3.3 ANALISI DI INVENTARIO (LCI)

3.3.1 Realizzazione delle infrastrutture aeroportuali e degli aeromobili

Nel modello LCA è stato utilizzato il processo di banca dati Ecoinvent 3.8 "*airport construction | airport | APOS, U"* per la modellizzazione degli impatti relativi alle infrastrutture aeroportuali.

Il dataset copre gli impatti relativi alla costruzione, manutenzione, uso del suolo e dismissione delle infrastrutture di un intero aeroporto.

L'aeroporto di riferimento del dataset è quello di Zurigo, e riporta gli impatti di un anno di attività utilizzando le prestazioni annuali dell'aeroporto (41'500'000'000 pkm/a). Ad ogni passeggero è attribuito un peso totale imbarcato di 100 kg. [BAZL/BFS, 2002][23]

La vita utile stimata dell'aeroporto è di 100 anni per le fondazioni e 33.3 anni per tutte le altre componenti.

Il processo inizia con la produzione dei principali materiali da costruzione (calcestruzzo, inerti, acciaio), e la trasformazione/occupazione del suolo. L'attività termina con la costruzione, mantenimento, uso del suolo e dismissione dell'intero aeroporto.

Il processo di costruzione comprende il consumo di materiali da costruzione, i consumi di energia (diesel e energia elettrica), gli scavi e la costruzione dei principali edifici.

Gli impatti relativi alla costruzione dei velivoli sono stati calcolati a partire dal processo di banca dati Ecoinvent 3.8 *"aircraft production, medium haul | aircraft, medium haul| APOS, U"*.

Il dataset rappresenta la produzione di un velivolo da trasporto a medio raggio, del tipo Airbus A 320 con un peso massimo a serbatoi vuoti di 61 t e 150 posti a disposizione.

Sono valutati gli impatti relativi ai principali materiali impiegati (alluminio e polietilene), energia (gas naturale, energia elettrica, gasolio), acqua e trattamento dei reflui.

[23] BAZL/BFS (2002) *Schweizerische Zivilluftfahrt. Bundesamt für Zivilluftfahrt und Bundesamt für Statistik,* Neuchatel Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) (admin.ch)

Le principali fasi di lavorazione sono: lavorazione delle parti metalliche, finitura e trattamento delle superfici, assemblaggio delle componenti, assemblaggio del prodotto finito.

Le emissioni dell'aeromobile sono allocate nel presente studio secondo la distanza totale percorsa dagli stessi durante la loro vita utile (valutata pari a 5.59E+7 km) e la loro performance di trasporto (150 passeggeri/unità). [Maibach et al. 1999][24]

3.3.2 Emissioni degli aeromobili

Gran parte delle emissioni di gas ad effetto serra del settore dei trasporti aerei è legato alla combustione di carburante nei motori degli aeromobili.

In questo studio le operazioni degli aeromobili sono state divise in Landing/Take-off (LTO) cycle e Climb Cruise Descent (CCD), come descritte nelle linee guida EMEP/EEA 2023[25].

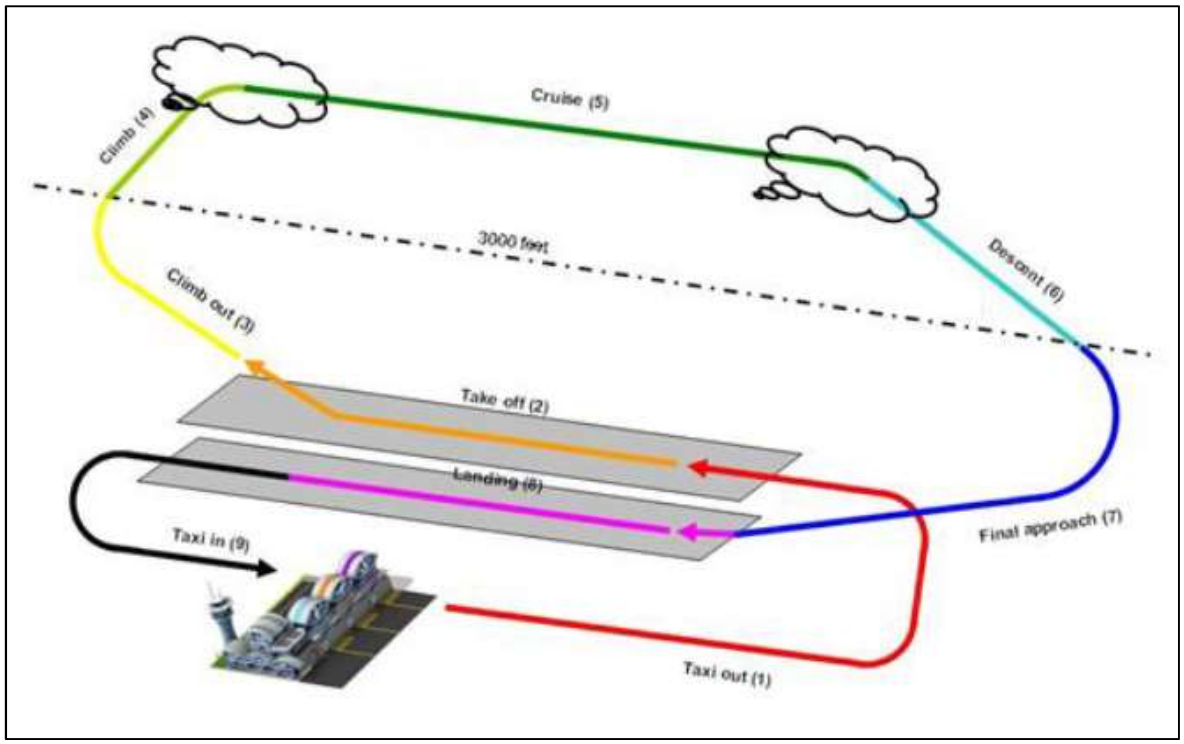


Figura 2 rappresentazione schematica del ciclo LTO.

Dato il contributo rilevante delle emissioni di GHG di questa fase la stima delle emissioni è stata realizzata seguendo un approccio bottom-up basato sul registro dei singoli voli come richiesto dal *Tier 3A* delle linee guida IPCC 2006 (Rif.11).

La metodologia del Tier 3A prende in considerazione le emissioni della fase CCD per differenti distanze di percorrenza, di conseguenza è stato necessario raccogliere dati riguardanti le distanze degli aeroporti raggiunti e i modelli di aeromobile utilizzati.

---

[24] Maibach M, Peter D, Seiler B (1999): *Ökoinventar Transporte: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsyste men und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. Technischer Schlussbericht*. Zürich, INFRAS

[25] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 — European Environment Agency (europa.eu)

Con questo metodo viene tenuto in considerazione che le emissioni generate differiscono nelle varie fasi di volo e per differenti modelli di aeromobili, inoltre il consumo di carburante è legato alla distanza percorsa nel singolo volo, in quanto i consumi della fase LTO incidono maggiormente sui voli a più corto raggio.

Dal registro dei voli del 2019 sono state ricavate le distanze medie percorse dagli aeromobili divisi per modello. Per ogni modello è quindi stato possibile ricavare il consumo di cherosene e le emissioni derivate di CO_2 per le due fasi di LTO e CCD.

Tabella 16: Consumi carburante e relative emissioni

Anno	FUEL CCD TOT (kg)	FUEL LTO TOT (kg)	CO2 CCD (Kg)	CO2 LTO (kg)
2019	3.45E+07	1.115E+07	1.12E+08	3.51E+07
2035	5.48E+07	1.455E+07	1.77E+08	4.59E+07

I valori per gli scenari 2019 e 2035 sono stati ricavati a partire dal numero di movimenti divisi per modello di aeromobile previsti nel Masterplan e dalle percorrenze medie per modello del 2019 aumentate del 30%.

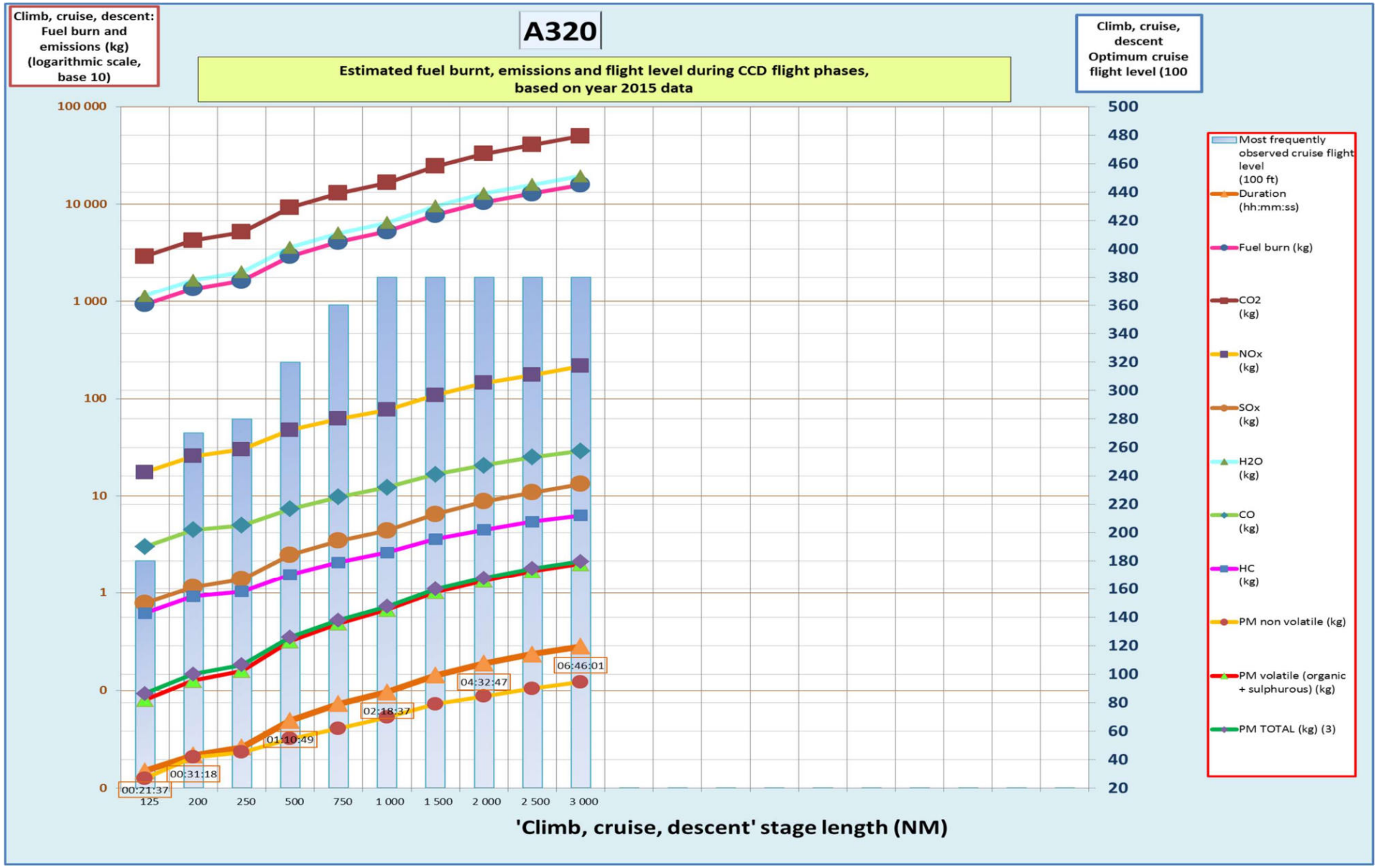
Per la valutazione dei consumi e delle emissioni è stato utilizzato il foglio di calcolo *"1.A.3.a Aviation - Annex 5 - Master emissions calculator 2016"* annesso alla EMEP/EEA *air pollutant emission inventory guidebook 2016.*[26]

[26] EMEP/EEA air pollutant emission inventory (europa.eu)

Esempio di calcolo delle emissioni e del carburante consumato con il foglio di calcolo *"1.A.3.a Aviation - Annex 5 - Master emissions calculator 2016"* (Aeromobile A-320, 400 nm di volo).

		Aircraft code - designators provided in separate worksheet		**Manufacturer**	AIRBUS INDUSTRIE		**Engine type**	Jet			**Default LTO (1) cycle (hh:mm:ss)**		
				One of the models associated with this aircraft type	A320 233		**The most common engine ID in 2015 used for modelling this aircraft type**	3CM026			**Phases**	ICAO default	Default for a busy European airport, year 2015
SELECT	⇨	**A320**									Taxi	00:26:00	00:20:06
				Category	Landplane		**Number of engines**	2			Take off	00:00:42	00:00:42
											Climb out	00:02:12	00:02:12
											Approach	00:04:00	00:04:00
											TOTAL	**00:32:54**	**00:27:00**
						Estimated parameters (based on year 2015)							
		Aircraft type	**A320** / AIRBUS INDUSTRIE	**Most frequently observed cruise flight level (100 ft)**	**Duration (hh:mm:ss)**	**Fuel burn (kg)**	**CO_2 (kg)**	**NO_x (kg)**	**SO_x (kg)**	**H_2O (kg)**	**CO (kg)**	**HC (kg)**	**PM non volatile (kg)**	**PM volatile (organic + sulphurous) (kg)**	**PM TOTAL (kg) (3)**
		Default LTO (1) cycle	Default for a busy European airport, year 2015		00:27:00	742.54	2 338.99	10.97	0.62	913.32	6.52	1.30	0.0066	0.0536	0.0602
			ICAO default		00:32:54	816.17	2 570.93	11.28	0.69	1 003.89	8.25	1.64	0.0067	0.0593	0.0661
ENTER	⇨	**Enter a CCD (2) stage length (NM)**	**400**	280	00:57:35	2 426.55	7 643.64	40.57	2.04	2 984.66	6.42	1.34	0.0286	0.2552	0.2838
		TOTAL LTO + CCD 400 nm.			**01:30:29**	**3 242.72**	**10 214.57**	**51.85**	**2.72**	**3 988.55**	**14.66**	**2.98**	**0.0353**	**0.3145**	**0.3498**

(1) LTO	Landing and Take-Off flight phases
(2) CCD	Climb/Cruise/Descent flight phases
(3) PM TOTAL	Total particulate matter emitted. As practically all PM emitted by modern transport aircraft has an aerodynamic diameter of less than 0.1 microns, this method considers that the masses of PM0.1, PM2.5, PM10 and total PM are identical.


Climb, cruise, descent: Fuel burn and emissions (kg) (logarithmic scale, base 10)
A320
Estimated fuel burnt, emissions and flight level during CCD flight phases, based on year 2015 data
Climb, cruise, descent Optimum cruise flight level (100
100 000
10 000
1 000
100
10
1
0
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
00:21:37
00:31:18
01:10:49
02:18:37
04:32:47
06:46:01
125
200
250
500
750
1 000
1 500
2 000
2 500
3 000
'Climb, cruise, descent' stage length (NM)
Most frequently observed cruise flight level (100 ft)
Duration (hh:mm:ss)
Fuel burn (kg)
CO2 (kg)
NOx (kg)
SOx (kg)
H2O (kg)
CO (kg)
HC (kg)
PM non volatile (kg)
PM volatile (organic + sulphurous) (kg)
PM TOTAL (kg) (3)

3.3.3 Produzione di energia, gas naturale e carburanti

3.3.3.1 Energia elettrica

L'energia elettrica consumata all'interno delle strutture aeroportuali è stata rilevata per l'anno 2019. I dati di consumo previsti per lo scenario 2035 sono ricavati dal dato 2019 moltiplicato per un fattore di scala legato ai movimenti/anno previsti. La produzione di energia elettrica dal cogeneratore e dall'impianto fotovoltaico è stata decurtata dalla previsione.

Tabella 17: Consumi energia elettrica

Anno	Movimenti/anno	Energia elettrica [MWh]
2019	36'136	8'170
2035	48'948	7'350

Per la valutazione delle emissioni legate alla produzione e trasporto dell'energia elettrica è stato utilizzato un processo di banca dati Ecoinvent 3.8 denominato *"market for electricity, low voltage | electricity, low voltage | APOS, U – IT"*.

Il processo utilizzato comprende le emissioni relative all'intero ciclo di vita di produzione del mix elettrico a basso voltaggio per la rete di distribuzione italiana, le perdite per la trasmissione e trasformazione e la produzione e le perdite di esafluoruro di zolfo (SF_6) ad esso collegate.

3.3.3.2 Gas naturale

Il consumo di gas naturale utilizzato per il riscaldamento delle strutture aeroportuali per l'anno 2014 è stato pari a 160'000 m^3. I dati di consumo per gli scenari 2018 e 2029 sono stimati a partire dal dato 2014 moltiplicato per un fattore di scala legato al numero di centrali termiche previste.

Tabella 18: Consumi gas naturale

Anno	Centrali termiche	Gas naturale [m^3]
2019	10	265'698
2035	1	304'500

Lo scenario al 2035 prevede l'installazione di un cogeneratore alimentato a metano.

Il processo di banca dati utilizzato per la modellizzazione delle emissioni è Ecoinvent 3.8 denominato *"heat production, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW | heat, central or small-scale, natural gas"*. Gli impatti sono relativi alla produzione e trasporto del gas naturale, produzione delle centrali termiche, produzione di energia elettrica consumata dai servizi ausiliari delle centrali stesse e emissioni da combustione del gas.

3.3.3.3 Gasolio e benzina per GSE

La quantità di carburanti (gasolio e benzina) consumata dai mezzi di terra (GSE) per le operazioni aeroportuali è stata rilevata per l'anno 2014. I dati di consumo previsti per gli scenari 2018 e 2029 sono ricavati dal dato 2014 moltiplicato per un fattore di scala legato ai movimenti/anno previsti.

Tabella 18: Consumi gasolio autotrazione

Anno	Movimenti/anno	Gasolio [litri]
2019	36'136	385.8
2035	48'948	106.0[1]

[1] circa l'80% dei mezzi a terra verranno elettrificati.

Per la valutazione delle emissioni legate alla produzione e trasporto del gasolio è stato utilizzato un processo di banca dati Ecoinvent 3.8 denominato *"market group for diesel, low-sulfur | diesel, low-sulfur | APOS, U - RER"*, mentre per la benzina è stato utilizzato *"market for petrol, unleaded | petrol, unleaded | APOS, U – RER"*.

I processi utilizzati comprendono le emissioni relative all'intero ciclo di vita di produzione dei due carburanti, il loro trasporto e lo smaltimento dei rifiuti generati dal ciclo produttivo.

Le emissioni legate alla combustione dei detti carburanti sono calcolate utilizzando i fattori di emissione pubblicati da 2.6594 kgCO2eq/litro (DEFRA version 1.1 2023 (Diesel - 100% mineral diesel)) e 2.4788 kgCO2eq/litro (DEFRA version 1.1 2023 (Diesel – avg. biofuel blended)).

3.4 ANALISI DEGLI IMPATTI (LCIA)

Come considerazione di carattere preliminare, va detto che i risultati della analisi LCIA forniscono informazioni di carattere relativo essendo il loro scopo principale quello della comparazione tra i diversi scenari del Masterplan dell'Aeroporto di Firenze e il confronto di questi con dati di letteratura e relativi ad altre strutture analoghe.

La metodologia di quantificazione degli impatti utilizzata si attiene al modello GWP100, CML 2001 baseline v4.8 (IPCC, 2013). I fattori di caratterizzazione utilizzati sono presi da CML-IA versione 4.8, rilasciata ad agosto 2016 dall'Institute of Environmental Sciences della Leiden University. L'analisi degli impatti è stata effettuata utilizzando il software OpenLCA versione 2.0 - 2023[27], sviluppato da Green Delta. Il software utilizzato contiene al suo interno il database Ecoinvent sviluppato dallo Swiss Centre for Life Cycle Assessment, considerato uno dei database più completi e autorevoli per l'Europa (Ecoinvent, 2007). La versione del database Ecoinvent utilizzata per questo studio è la v 3.8.

L'indicatore utilizzato è il potenziale di surriscaldamento globale GWP, calcolato considerando sia l'attitudine del gas serra ad assorbire radiazioni infrarosse, sia il tempo di permanenza del gas in atmosfera. Il GWP è quindi un indice, basato sulla concentrazione e sul periodo di esposizione, che esprime quanto un gas contribuisce all'effetto serra basandosi su una scala relativa che confronta la sostanza considerata con la quantità equivalente di CO_2, il cui valore convenzionale di GWP è per definizione pari a 1.

I quantitativi di gas serra oggetto dell'analisi vengono normalmente espressi in kg di CO_2 equivalenti (kg CO2eq), attraverso un'operazione di standardizzazione basata sui potenziali di riscaldamento globale. Ogni valore di GWP è calcolato per uno specifico intervallo di tempo indicato a pedice, normalmente pari a 20, 100, 200 o 500 anni per tener conto del fatto che le varie sostanze si decompongono e inattivano in periodi di tempo molto lunghi.

Nel presente studio è stato utilizzato un orizzonte temporale pari a 100 anni (GWP_{100}).

[27] openLCA.org | openLCA is a free, professional Life Cycle Assessment (LCA) and footprint software with a broad range of features and many available databases, created by GreenDelta since 2006

3.5 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI E IDENTIFICAZIONE DEI FATTORI SIGNIFICATIVI

I risultati della performance ambientale dei due scenari, espressa come tonnellate di CO2 eq. per passeggero trasportato (PAX) sono riportati in tabella 19. I valori di emissione sono relativi a tutte le fonti riportate nell'inventario per l'anno solare considerato.

Tabella 19: Performance ambientale dei due scenari in termini assoluti di emissioni e di KPI

ANNO	GWP [kg CO2e]	PAX	CO2e/PAX
2019	2.14E+08	2'874'233	74.3
2035	3.92E+08	5'800'000	67.5

Come si Il *Global Warming Potential* annuale per l'attività dell'aeroporto è destinato a crescere, dato l'aumentato numero di movimenti previsti e le maggiori distanze percorse. Se le emissioni vengono rapportate al numero di passeggeri trasportati per anno (PAX), il GWP degli scenari previsti dal Masterplan risulta sensibilmente minore rispetto allo stato attuale (2019).

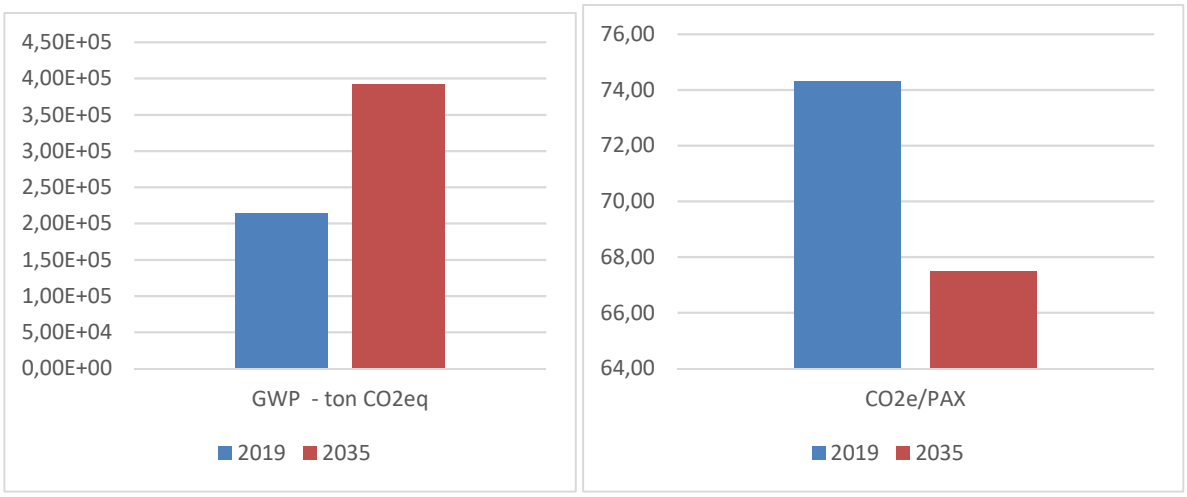


Figura 5: GWP e GWP/PAX nello scenario attuale e di Masterplan

Il bilancio delle emissioni è stato quindi analizzato dividendo le fonti di emissione in 8 sub processi:

1. CCD – Emissioni da combustione del cherosene durante la fase Climb-Cruise-Descent;
2. LTO – Emissioni da combustione del cherosene durante la fase Landing-Take Off;
3. AEROPORTO – Emissioni dovute alla realizzazione, manutenzione e dismissione delle infrastrutture aeroportuali;
4. CHEROSENE – Emissioni legate alla produzione e trasporto del cherosene;
5. CONSUMI ELETTRICI – Emissioni per la produzione dell'energia elettrica consumata;
6. GSE – Emissioni dei mezzi a terra;
7. GAS NATURALE – Emissioni da produzione, trasporto e combustione del gas naturale consumato;
8. AEROMOBILI – Emissioni legate alla produzione, manutenzione e dismissione degli aeromobili utilizzati.

L'analisi LCA ha permesso quindi di identificare il contributo delle fonti di emissione di GHG modellizzate. La distribuzione percentuale del GWP rappresentata in figura evidenzia come più dell'80% delle emissioni di

CO2e sono collegate alla fase di volo (CCD+LTO+CHEROSENE), come confermato da dati di letteratura (IPCC Guidance, EEA 2019).

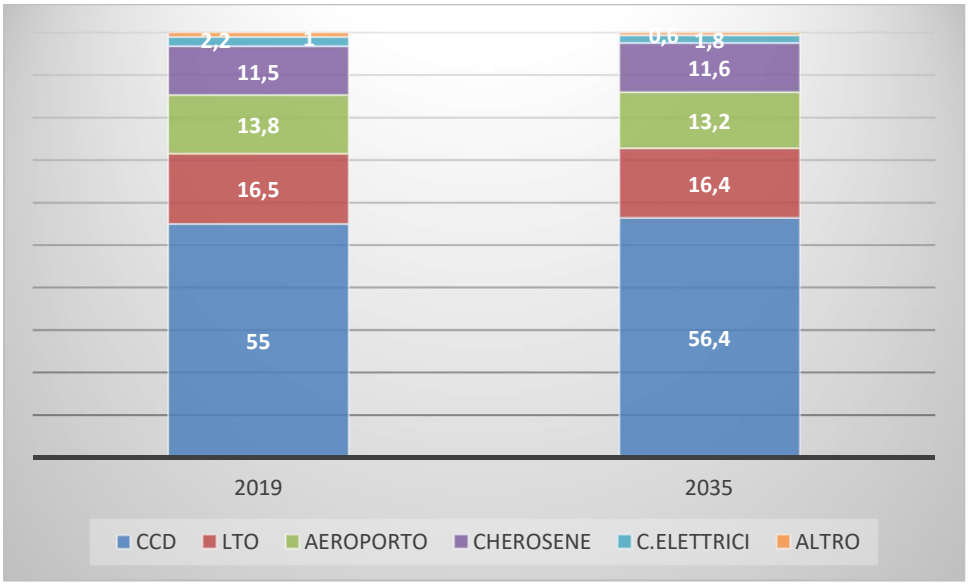


Figura 6: Distribuzione percentuale del GWP per categoria

Il contributo alle emissioni della fase CCD è risultato leggermente maggiore nello scenario 2035 in cui si prevedono maggiori distanze coperte dai voli, effetto che non si ripercuote sulle emissioni da LTO. Il contributo relativo alle infrastrutture aeroportuali è invece in diminuzione per l'aumento dell'efficienza del fattore di trasporto (maggior numero di passeggeri trasportati e maggiori distanze coperte) oltre che alla modifica significativa delle fonti di approvvigionamento (elettrificazione dei mezzi a terra).

In quest'ottica è importante sottolineare come gli aspetti più significativi di competenza della struttura aeroportuale (ciclo di vita aeroporto, consumi elettrici e gas naturale) si riducano in termini percentuali passando dall'attuale configurazione al Masterplan.

3.6 VULNERABILITÀ DEL PROGETTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Eurocontrol, in un recente articolo [28], riassume gli impatti del cambiamento climatico sul settore dell'aviazione. Negli ultimi anni le condizioni meteorologiche perturbatrici hanno causato sempre più ritardi. Il gestore della rete e i suoi partner interessati all'aviazione europea hanno progressivamente introdotto misure per contrastare questo problema, come l'integrazione delle previsioni meteorologiche transfrontaliere nelle operazioni di rete. Ma allo stesso tempo, l'Europa sta vivendo eventi meteorologici senza precedenti, come inondazioni devastanti in Belgio e Germania, incendi e temperature estreme in tutto il continente. Nel 2022 le temperature estive erano così calde che alcune piste si scioglievano. Le tempeste hanno causato voli ritardati, dirottati e cancellati e danni alle apparecchiature di comunicazione. Le precipitazioni estreme hanno causato l'allagamento di una torre di controllo, chiudendo temporaneamente un aeroporto. Alla fine del 2022, abbiamo visto il pesante clima invernale incidere sulle operazioni aeroportuali, causando ritardi e cancellazioni di molti altri voli.

Secondo il IPCC delle Nazioni Unite - *Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2023)[29], tali impatti aumenteranno con l'accelerazione del cambiamento climatico. Pertanto, l'industria aeronautica deve agire per adattarsi e rafforzare la sua resilienza. Infatti, la ripresa del traffico aumenterà la pressione sulla rete, poiché gli impatti sono esacerbati quando la capacità è limitata. Le previsioni a lungo termine EUROCONTROL prevedono 16 milioni di voli all'anno entro il 2050, con un aumento del 40% rispetto ai livelli del 2019.

Per supportare il settore aeronautico europeo nell'adattamento ai cambiamenti climatici, nel 2021, EUROCONTROL ha prodotto uno studio (effettuato per EUROCONTROL da Egis Aviation e UK Met Office) "*Climate Change Risks for European Aviation*"[30] per quantificare meglio i potenziali impatti. Oltre all'intensità dei fenomeni temporaleschi, sono stati esaminati i potenziali impatti dell'innalzamento del livello del mare sugli aeroporti europei. Tra i 270 aeroporti costieri europei, entro la fine del secolo, oltre due terzi di essi sarebbero a rischio di inondazioni costiere o marine. D'altra parte, i cambiamenti nella distribuzione del vento possono avere diversi impatti. Venti molto forti possono interrompere le operazioni; anche i cambiamenti nella direzione prevalente del vento possono avere un impatto sulle operazioni se non è presente una pista con vento al traverso, e i cambiamenti nei venti ad alta quota possono influire sui tempi di volo e potenzialmente causare problemi alla gestione degli slot aeroportuali. Un altro impatto importante da considerare deriva dalle temperature medie ed estreme più elevate. Ciò può avere un impatto sulle prestazioni operative, perché l'aria più calda è meno densa quindi sarà necessaria più spinta per il decollo; potrebbero essere necessari una maggiore lunghezza della pista o un carico utile ridotto durante le parti più calde della giornata.

È essenziale che tutte le organizzazioni aeronautiche effettuino una valutazione del rischio legato al cambiamento climatico e attuino misure di adattamento per rafforzare la resilienza dei propri passeggeri, del personale, delle infrastrutture e delle operazioni.

[28] Understanding the impact of climate change on aviation | EUROCONTROL

[29] AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 — IPCC

[30] eurocontrol-study-climate-change-risk-european-aviation-summary-report-2021.pdf

In sintesi, per il settore del trasporto aereo, con particolare riferimento alle infrastrutture aeroportuali, sono state individuate le seguenti criticità:

- Il riscaldamento medio dell'aria ne diminuisce la densità. Nei mesi estivi, in particolar modo negli aeroporti in alta quota, può portare ad una diminuzione della capacità di carico dei velivoli, a valutazioni rispetto alla sicurezza, e a ritardi legati alle condizioni meteorologiche, a meno di interventi di allungamento delle piste. [National Research Council, 2008[31]; Pejovic et al., 2009[32]]
- aumento del numero di eventi di precipitazione e vento ad alta intensità. In particolare, gli aeroporti situati in zone costiere potranno avere un aumento nel numero di voli in ritardo o annullati per condizioni meteo non favorevoli [Pejovic et al., 2009; Lemmen and Warren, 2010[33]] e delle spese di manutenzione e riparazione delle infrastrutture. [Gusmao, 2010[34]]
- aumento delle turbolenze nel corridoio Atlantico. Aumento dei tempi di volo e delle turbolenze incontrate. [Williams and Joshi, 2013[35]]
- aumento delle temperature e dell'intensità delle precipitazioni potranno portare ad una degradazione più rapida delle piste [DOT, 2002[36]; Allard et al., 2007[37]], con rischi per le strutture connesse. [Pejovic et al., 2009]

Per quanto riguarda invece le opere di mitigazione a verde, nell'area mediterranea sono state individuate le seguenti criticità legate al cambiamento climatico:

- Aumento delle temperature estreme.
- Diminuzione delle precipitazioni e del livello dei fiumi.
- Aumento del rischio di siccità.
- Aumento del rischio di perdita di biodiversità.
- Aumento del rischio incendi.
- Espansione dell'habitat di agenti patogeni.

---

[31] National Research Council, 2008: Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation. Transportation Research Board Special Report 290. Committee on Climate Change and U.S. Transportation, Transportation Research Board (TRB) and Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies, TRB, Washington, DC, USA, 280 pp.

[32] Pejovic, Tamara & A. Williams, Victoria & Noland, Robert & Toumi, Ralf. (2009). Factors Affecting the Frequency and Severity of Airport Weather Delays and the Implications of Climate Change for Future Delays. Transportation Research Record. 2139. 97-106. 10.3141/2139-12.

[33] Lemmen, D. and F. Warren, 2010: Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective [Lemmen, D. and F. Warren (eds.)]. Government of Canada, Climate Change Impacts and Adaptation Directorate, Natural Resources Canada, Ottawa, ON, Canada, 174 pp.

[34] Gusmao, D., 2010: Case-study 2: European airports and sea level rise. In: "Challenges of Growth" – Environmental Update Study: Climate Adaptation Case Studies [Thomas, C. and A.J. Drew (eds.)]. European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), Brussels, Belgium, pp. 71-91.

[35] Williams, P.D. and M.M. Joshi, 2013: Intensification of winter transatlantic aviation turbulence in response to climate change. Nature Climate Change, 3, 644-648

[36] DOT, 2002: The Potential Impacts of Climate Change on Transportation. Federal Research Partnership Workshop October 1-2, 2002 held at the Brookings Institution, Washington, DC, USA, Summary and Discussion Papers, U.S. Department of Transportation Center for Climate Change and Environmental Forecasting (DOT), Washington, DC, USA, 263 pp

[37] Allard, M., A. Fortier, D. Sarrazin, F. Calmels, D. Fortier, D. Chaumont, J.P. Savard, and Tarussov A., 2007: L'Impact du Réchauffement Climatique sur les Aéroports du Nunavik: Caractéristiques du Pergélisol et Caractérisation des Processus de Dégradation des Pistes. Ressources naturelles Canada (Natural Resources Canada), Ottawa, ON, Canada, 184 pp

In definitiva, dalla seguente tabella, si può vedere come la vulnerabilità dell'infrastruttura aeroportuale nella configurazione Masterplan sia medio/bassa – bassa.

Tabella 19: Vulnerabilità infrastruttura per fattore di criticità al cambiamento climatico

Fattore	Vulnerabilità	Note
Diminuzione densità dell'aria	BASSA	L'aeroporto si trova a circa 40 m s.l.m. e il Masterplan prevede l'allungamento della pista.
Aumento degli eventi meteorologici intensi	MEDIO/BASSA	L'aeroporto non è situato in zona costiera, da valutare l'aumento degli eventi estremi locali.
Aumento delle turbolenze	BASSA	Non riguarda direttamente la struttura aeroportuale.
Degradazione delle piste	MEDIO/BASSA	Da valutare l'aumento degli eventi estremi locali.
Degradazione delle mitigazioni a verde	MEDIO/BASSA	Da valutare interventi di tutela delle opere a verde realizzate.

3.7 CONCLUSIONI DELLO STUDIO LCA E VULNERABILITÀ

3.7.1 Contributo al cambiamento climatico

Il progetto di Masterplan 2035 prevede l'ampliamento del traffico annuo dell'Aeroporto di Firenze, con un conseguente lieve aumento delle emissioni totali di GHG, ma l'aumentata efficienza di trasporto (legata ad una maggior capienza degli aeromobili) e l'utilizzo della cogenerazione per la produzione energetica dello scalo, porta ad una diminuzione delle emissioni di GHG per passeggero trasportato.

Il contributo alla emissione di GHG del Masterplan sui vari fattori individuati si pone in linea con la *carbon footprint* delle strutture aeroportuali internazionali[38].

3.7.2 Vulnerabilità del progetto

L'esercizio del progetto di Masterplan 2035 dell'Aeroporto di Firenze non presenta vulnerabilità rilevanti alle pressioni ambientali derivate dai cambiamenti climatici globali.

Poiché non esistono al momento sufficienti basi scientifiche per quantificare un possibile aumento degli eventi meteorologici estremi sull'area interessata, di conseguenza è difficile stimare gli eventuali impatti che questi potranno esercitare sulla degradazione delle infrastrutture (in particolare le piste) e sulla qualità del servizio (ritardi e annullamenti dei voli).

[38] Accredited Airports - Airport Carbon Accreditation