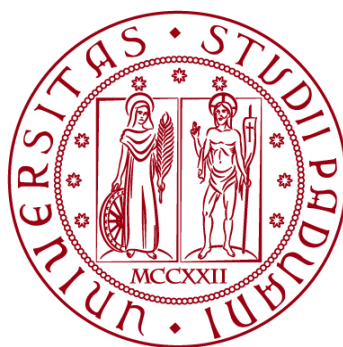


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E
AMBIENTALE

Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

INQUINAMENTO ATMOSFERICO CORRELATO
CON L'ESERCIZIO AEROPORTUALE: ANALISI
DELLE EMISSIONI E POSSIBILI SOLUZIONI

Relatore: PROF. MARCO PASETTO

Correlatori: PROF. GIOVANNI GIACOMELLO

Laureando: ANDREA CARRER

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

INDICE

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE | 1 |
| CAPITOLO 2 – SOSTANZE EMESSE | |
| 2.1 – LANDING AND TAKE OFF CYCLE (CICLO LTO)..... | 5 |
| 2.2 – METODI DI STIMA DELLE EMISSIONI | 7 |
| 2.3 – ELENCO DELLE SOSTANZE E METODI DI MISURAZIONE | 7 |
| CAPITOLO 3 – CONSUMO DA PARTE DI AEROMOBILI ATTUAL- MENTE IN USO | 11 |
| CAPITOLO 4 – FLUSSO AEREO E CONSUMI | |
| 4.1 – DATI GENERALI FLUSSO AEREO | 17 |
| 4.2 – FLUSSI ED EMISSIONI DELL’AEROPORTO DI VENEZIA | 19 |
| CAPITOLO 5 – POSSIBILI SOLUZIONI PER RISOVERE IL PROBLEMA | |
| 5.1 – INTRODUZIONE ALLE PROBLEMATICHE..... | 27 |
| 5.2 – UTILIZZO DEI SUSTAINABLE AVIATION FUEL (SAF)..... | 28 |
| 5.3 – METODO DI SCAMBIO DELLE QUOTE DI EMISSIONE DELL’UE...29 | |
| 5.4 – METODO DELLE COMPENSAZIONI..... | 29 |
| 5.5 – ZEROE..... | 30 |
| 5.6 – VELIVOLO AD ENERGIA SOLARE..... | 33 |
| CONCLUSIONI | 35 |
| BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA | 37 |

INTRODUZIONE

Il trasporto aereo di passeggeri e di merci da qualche decennio è in continuo aumento a causa della necessità di una sempre maggiore connessione tra i diversi paesi del mondo per sostenere i ritmi di una globalizzazione ormai inarrestabile. L'aumento registrato è pari a circa il 5% annuo a partire dagli anni '90 e potrebbe far triplicare l'inquinamento dovuto al trasporto aereo arrivando nel 2050 a quota 25% di tutto l'inquinamento globale da combustibili fossili. L'inquinamento aeroportuale è causato in primo piano dagli scarichi degli aerei ma anche dai mezzi necessari per la movimentazione degli aerei e dai sistemi necessari per il funzionamento degli impianti aeroportuali oltre che dal traffico veicolare da e per l'aeroporto. Una caratteristica fondamentale dell'inquinamento aeroportuale, che lo differenzia dall'inquinamento dovuto al traffico veicolare, è la maggior dispersione delle sostanze inquinanti prodotte dagli aerei e dalla struttura aeroportuale. Si può notare infatti che nel caso delle autostrade, ad una distanza di circa 300 metri i valori delle sostanze inquinanti tornano a dei valori standard mentre nel caso degli aeroporti questa distanza è di circa 900 metri e gli effetti si possono osservare fino a 3 km di distanza dalle piste. Alcune misurazioni effettuate mostrano che la concentrazione degli inquinanti è direttamente proporzionale alla distanza dalle piste: vi sono infatti concentrazioni 10 volte maggiori in prossimità delle piste (da 80 a 400 metri) rispetto a zone più lontane (fino a 3 km).

Tutte queste sostanze inquinanti emesse dai velivoli e dall'aeroporto causano una serie di patologie soprattutto a livello dell'apparato respiratorio con un aumento delle patologie ostruttive (bronchiti, asma) e tumorali. Le categorie più a rischio sono gli anziani, le persone allergiche, i bambini e tutti coloro che soffrono di malattie cardio-vascolari. Per evitare che queste sostanze portino dei rischi e delle complicanze nella nostra vita è consigliato proteggersi utilizzando dei purificatori d'aria con filtri HEPA e carboni attivi che possano bloccare gli inquinanti.

Alcune stime internazionali, tra cui la stima dell'International Council on Clean Transportation (ICCT), mostrano che l'incidenza del trasporto aereo sul totale delle emissioni che influenzano il clima è circa il 3% e quindi offre un sostanziale contributo al surriscaldamento del pianeta e all'inquinamento dell'aria. Apporto che sta crescendo vertiginosamente a causa dell'aumento dei voli low cost che comportano dunque un maggior consumo di sostanze inquinanti.

Confrontato con altri mezzi di trasporto, l'aereo è il mezzo maggiormente inquinante nel rapporto passeggero-chilometro. In particolare, sono proprio i voli a corto raggio ad essere i principali emettitori di inquinanti atmosferici, poiché il carburante viene consumato maggiormente durante le fasi di decollo e atterraggio. Volare produce 285 grammi di CO₂ per ogni passeggero e in ogni aereo vi sono in media 88 persone a volo.

Per confrontare le emissioni di diversi sistemi di trasporto, l'Agenzia Europea dell'ambiente ha stilato un elenco dove sono riportati i consumi di CO₂ a passeggero per chilometro percorso con i vari sistemi di trasporto. Si riporta di seguito l'elenco:

- 4 g di CO₂/passeggero/km per il treno,
- 42 g CO₂/passeggero/km per un'auto piccola,
- 55 g CO₂/passeggero/km per un'auto media,
- 68 g di CO₂/passeggero/km per un autobus,
- 72 g di CO₂/passeggero/km per un motore a due ruote,
- 285 g di CO₂/passeggero/km per un aereo.

Si può notare che l'aereo è dunque il mezzo di trasporto più inquinante in base al consumo al chilometro per passeggero. Difatti, secondo le stime di Supporting European Aviation, a luglio 2019 in Europa il traffico aereo (oltre 1 milione di voli) avrebbe generato 20,7 milioni di tonnellate di CO₂.

Negli ultimi anni il traffico aereo è cambiato molto: nel 2018 i passeggeri sono aumentati del 6% rispetto all'anno precedente. Nel 2019, la crescita è stata del 4%. Nel 2020 invece, l'anno della pandemia, il traffico si è ridotto di oltre il 90% in tutto il mondo, con un calo del 64% delle emissioni di gas serra del trasporto aereo solo in Europa.

Osservando la Figura 1 si può notare la variazione del traffico aereo negli anni 2019-2020, con un calo del numero di voli dovuto alla pandemia:

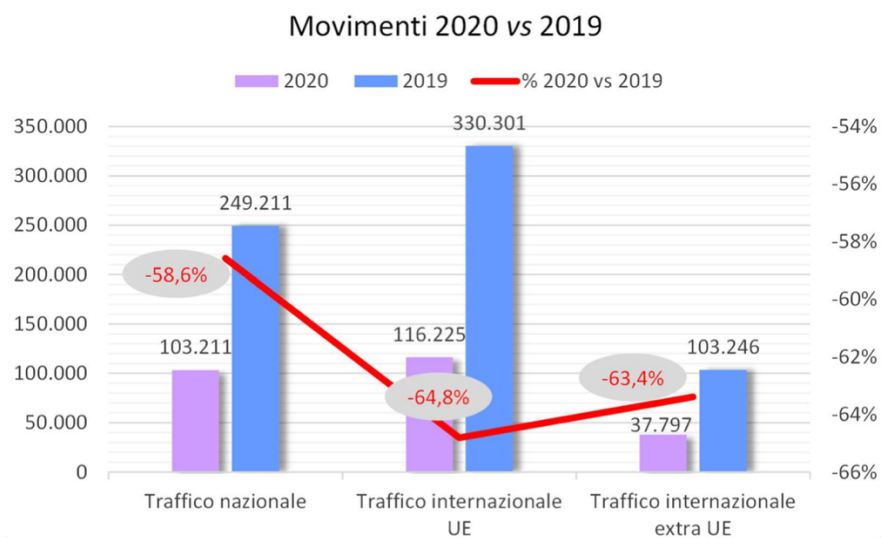


Figura 1 – Confronto tra il numero di voli negli anni 2019 e 2020.

CAPITOLO 2 – SOSTANZE EMESSE

Per analizzare il trasporto aereo e dunque studiare le sostanze emesse che esso comporta, ci si può affidare in alcuni casi ad un inventario delle emissioni il cui principale scopo è quello di fornire una stima sulla quantità di sostanze inquinanti emesse in un determinato territorio e quindi fornisce informazioni molto importanti per individuare le fonti sulle quali può essere più efficace e prioritario agire per ridurre la formazione di alcuni inquinanti. L'utilizzo di questi inventari di emissione a supporto della gestione e pianificazione della qualità dell'aria è stato ampiamente riconosciuto sia dalla normativa europea che da quella italiana e sono richiesti anche per la valutazione di impatto ambientale (V.I.A) delle nuove fonti di emissione e di quelle già esistenti, come ad esempio un aeroporto.

2.1 LANDING AND TAKE OFF CYCLE (CICLO LTO)

Per ottenere una stima delle emissioni rilasciate dai velivoli, è buona norma prendere in considerazione il ciclo di atterraggio e decollo (“Landing and Take Off cycle” – Ciclo LTO), che include tutte le attività e operazioni di un aereo al di sotto dei 1000 metri. Il ciclo LTO si compone di cinque diverse fasi:

- 1 - Taxi-out,
- 2 - Take-off,
- 3 - Climb-out,
- 4 – Approach,
- 5 - Taxi-in.

Si analizzano nel dettaglio le fasi appena citate.

Taxi out:

Il taxi-out consiste nella fase di percorrenza a terra che l'aeromobile compie tra lo stand di stazionamento e la testata della pista di volo, in fase di decollo. Il tempo di taxi-out dipende quindi dalla struttura e dalle dimensioni dell'infrastruttura aeroportuale, ossia dalle distanze che gli aeromobili devono percorrere a terra, dalla zona in cui stazionano alla pista di volo.

Take-off:

Questa fase inizia quando l'aeromobile comincia ad accelerare in pista e si conclude quando esso sviluppa la spinta necessaria per restare in volo.

Climb-out:

Si svolge completamente in aria ed è la fase nella quale l'aeromobile raggiunge quota 1000 metri.

Approach:

Si intende la fase che prevede l'atterraggio in pista dell'aeromobile. Inizia quando l'aereo scende sotto quota 1000 metri e finisce quando arriva a contatto con la pista.

Taxi-in:

Si svolge completamente a terra ed è la fase tra il contatto dell'aereo con la pista e il suo posizionamento nella zona a lui riservata nelle piste aeroportuali.

Si riporta in conclusione un'immagine rappresentante le 5 fasi appena descritte (Figura 2)

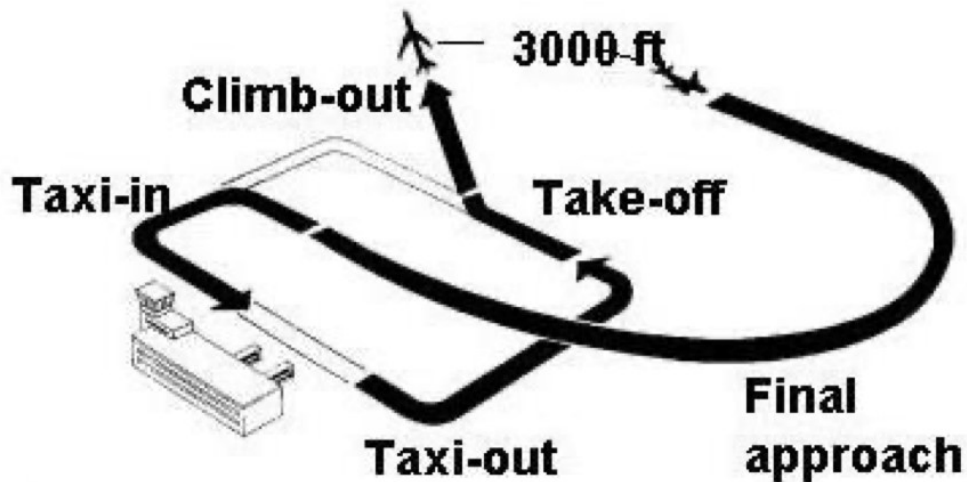


Figura 2 – 5 fasi del ciclo LTO.

2.2 METODI DI STIMA DELLE EMISSIONI

Una metodologia affidabile di stima delle emissioni provocate dagli aeromobili è ricavabile dalla letteratura internazionale (l'Agenzia USA per la Protezione dell'Ambiente – US EPA, l'Amministrazione Federale dell'Aviazione – FAA). Per ottenere tale stima viene considerato il ciclo LTO descritto in precedenza, in quanto buona parte del consumo di carburante avviene proprio nelle fasi di atterraggio e decollo. La valutazione delle emissioni degli aeromobili è eseguita utilizzando specifici fattori di emissione (espressi in termini di massa di inquinante emesso per unità di combustibile), relativi alla condizione di spinta massima del motore, ricavati da misure sperimentali sui diversi modelli di motore. Utilizzando il ciclo LTO, per ognuna delle cinque fasi che lo compongono, i fattori di emissione sono espressi come percentuale dell'emissione corrispondente a quella massima di spinta e la stima dell'emissione si ottiene dal prodotto tra il fattore di emissione ed il consumo di combustibile. In linea generale, la metodologia utilizzata in un inventario per stimare le emissioni è la seguente:

$$E_i = A \times FE_i$$

dove: E_i rappresenta l'emissione dell'inquinante i , A è un opportuno indicatore dell'attività correlato con le quantità emesse, FE_i è il fattore di emissione per l'inquinante i e l'attività espressa da A , ovvero la massa dell'inquinante emessa per una quantità unitaria dell'indicatore.

I risultati della singola valutazione sono le emissioni dei diversi inquinanti per ogni fase del ciclo LTO effettuato da ogni motore montato sui velivoli.

2.3 ELENCO DELLE SOSTANZE E METODI DI MISURAZIONE

I velivoli e le strutture aeroportuali sono responsabili dell'emissione di un elevato numero di inquinanti.

Il funzionamento della piattaforma aerea può essere diviso in diverse fonti di inquinamento atmosferico:

- I motori dell'aereo emettono principalmente ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂), polveri (PM), anidride carbonica (CO₂) e acqua (H₂O). Le emissioni di ossidi di azoto e particelle in sospensione sono prevalenti in fase di decollo e salita, mentre le emissioni di monossido di carbonio e idrocarburi sono superiori al momento dell'avanzamento a terra.

- Le emissioni prodotte direttamente dal funzionamento dell'aeroporto, dovute a: gruppi elettrogeni, compressori, elevatori, tappeti per i bagagli, le prove motori, i veicoli di servizio, le centrali di produzione di energia, la conservazione di carburante e molti altri fattori

- Il traffico stradale provocato per servire l'aeroporto (veicoli personali, veicoli a noleggio, taxi, bus, navette).

Analizzate le diverse fonti di inquinamento, è possibile stilare una lista delle sostanze inquinanti emesse dall'aeroporto:

SO₂ (biossido di zolfo) – (µg/m³);

NO (monossido di azoto) – (µg/m³);

NO₂ (biossido di azoto) – (µg/m³);

NO_x (ossidi di azoto) – (µg/m³);

PM_{2.5}-PM₁₀ (particolato atmosferico) – (µg/m³);

CO (monossido di carbonio) – (mg/m³);

O₃ (ozono) – (µg/m³);

C₆H₆ (benzene) – (µg/m³).

Le sostanze appena citate devono rispettare dei limiti di legge descritti nel decreto legislativo 155/2010 (Tabella 1).

| SOSTANZA INQUINANTE | VALORE LIMITE DI LEGGE |
|-------------------------------|------------------------|
| SO ₂ | 20 µg/m ³ |
| NO _x | 30 µg/m ³ |
| NO ₂ | 400 µg/m ³ |
| PM ₁₀ | 40 µg/m ³ |
| PM _{2.5} | 25 µg/m ³ |
| CO | 10 µg/m ³ |
| C ₆ H ₆ | 5 µg/m ³ |
| O ₃ | 240 µg/m ³ |

Tabella 1 – Valori limite di legge delle sostanze inquinanti

Gli inquinanti vengono misurati attraverso metodi e strumenti differenti, come indicato in Tabella 2.

| SOSTANZA INQUINANTE | STRUMENTO DI MISURAZIONE | PRINCIPIO DI MISURA |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| SO ₂ | Modello 43B della Thermo Environmental Instruments Inc. U.S.A | Fluorescenza pulsata UV |
| NO _x | Modello 42B della Thermo Environmental Instruments Inc. U.S.A | Chemiluminescenza |
| NO ₂ | Modello 42B della Thermo Environmental Instruments Inc. U.S.A | Chemiluminescenza |
| PM10 | Modello BAM1020 della Met One Instruments Inc. U.S.A | Assorbimento raggi Beta |
| PM2.5 | Modello MP101M della Environment SA FRANCIA | Assorbimento raggi Beta |
| CO | Modello 48C della Thermo Environmental Instruments Inc. U.S.A | Assorbimento infrarosso |
| C ₆ H ₆ | Strumento SRI Instruments c. U.S.A mod.SRI 8610C | Rilevatore PID |
| O ₃ | Modello 49C PS della Thermo Environmental Instruments Inc. U.S.A | Assorbimento UV |

Tabella 2-Metodi di misurazione delle sostanze inquinanti

Una volta introdotte le sostanze inquinanti presenti possiamo, attraverso una tabella, osservarne il contributo rispetto alle emissioni nazionali e in base alla tipologia di volo effettuato. Le sigle presenti nella Tabella 3 hanno come significato:

- “080501” - traffico nazionale sotto i 1000 m di quota (numero di atterraggi totali),
- “080502” - traffico internazionale sotto i 1000 m di quota (numero di atterraggi internazionali),
- “080503” - traffico nazionale di crociera sopra i 1000 m di quota (numero di atterraggi totali).

| ATTIVITA' | Traffico aereo: contributo % alle emissioni nazionali | |
|------------------|-------------------------------------------------------|----------|
| | 080501 e 080502 % | 080503 % |
| SO ₂ | 0 – 0.2 | - |
| NO _x | 0 – 3 | 0 – 2 |
| NMVOC | 0 – 0.6 | - |
| CO | 0 – 0.3 | - |
| CO ₂ | 0 – 2 | 0 - 1 |
| CH ₄ | 0 | - |
| N ₂ O | 0 | - |

Tabella 3- Contributo delle sostanze inquinanti rispetto alle emissioni nazionali

Sappiamo inoltre che le emissioni e il trasporto aereo variano anche in base alle zone del mondo. Nella tabella 4 è possibile osservare la distribuzione del consumo di CO₂ nel mondo causato dal traffico aereo (dati del 2019).

| Rank | Departure country | CO ₂ [Mt] | % of total CO ₂ |
|-------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 | United States ^a | 179 | 23 |
| 2 | China ^b | 103 | 13 |
| 3 | United Kingdom ^c | 31.8 | 4.1 |
| 4 | Japan | 25.9 | 3.3 |
| 5 | Germany | 23.1 | 2.9 |
| 6 | United Arab Emirates | 21.5 | 2.7 |
| 7 | India | 21.2 | 2.7 |
| 8 | France ^d | 20.6 | 2.6 |
| 9 | Spain | 19.8 | 2.5 |
| 10 | Australia ^e | 19.5 | 2.5 |
| Rest of the World | | 319 | 41 |
| Total | | 752 | 100 |

Tabella 4 – Consumo di CO₂ nel mondo

Dalla tabella 4 si può osservare che Stati Uniti e Cina sono i due paesi con le maggiori emissioni di CO₂, un dato dovuto alle grandi dimensioni di questi due paesi e al fatto che in essi il traffico aereo è molto sviluppato.

CAPITOLO 3 – CONSUMO DA PARTE DI AEROMOBILI ATTUALMENTE IN USO

In questo capitolo cercheremo di confrontare i consumi di aeromobili attualmente in uso cercando dunque di capire, in base alla tipologia di aereo, quali sono quelli che emettono più sostanze inquinanti. Prima di vedere i consumi di particolari aeromobili, quantifichiamo le sostanze emesse da un aereo basandoci sui dati presenti nella figura 3 che riportano la quantità, in chilogrammi, di gas e particolato, emessa da un comune aereo bimotore con 150 passeggeri a bordo durante un'ora di volo.

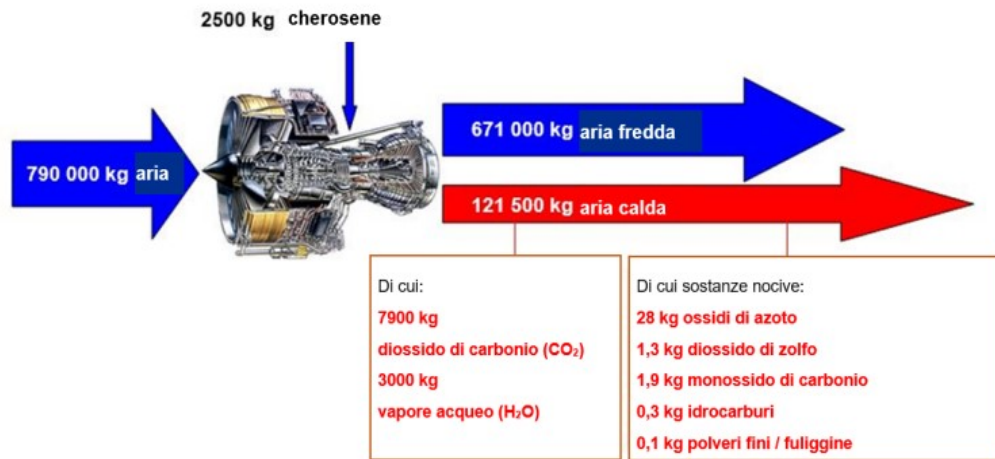


Figura 3 – Quantità delle emissioni di un aereo comune.

Il trasporto aereo è nato dalla necessità di generare spostamenti sia di merce sia di passeggeri da una città all'altra e per raggiungere questo obiettivo sono nate molte case costruttrici di aerei in diverse parti del mondo con lo scopo di fabbricare aeromobili ad uso passeggeri o per trasporto merci. Tra queste vi sono: Airbus, Antonov, ATR, BAe, Boeing, Comac, de Havilland, McDonnell Douglas, Embraer, Fokker, Ilyushin, Saab e Tupolev

Le più importanti sono la statunitense Boeing e l'europea Airbus ed entrambe hanno investito molto per introdurre nel mercato nuovi modelli di aeromobili sempre più efficienti e confortevoli. Quest'ultime due case costruttrici hanno avuto grandi ordini per i loro aeromobili, dal 1980 complessivamente oltre 15 mila richieste. La casa produttrice Airbus è stata costituita nel 1970 in Europa e si è contraddistinta per il modello A320: un velivolo avente un unico corridoio interno e due motori ed è stato il primo aeromobile civile ad avere in dotazione la tecnologia "fly-by-wire" ovvero con sistema a comando elettronico. Altri modelli importanti prodotti da Airbus utilizzati per corte e medie distanze sono: A318 che può ospitare fino a 136 passeggeri, A319 fino a 160 posti, A320 fino a 195 posti e A321 fino a 244 posti. Mentre per percorrere lunghe distanze vi sono aerei costituiti al loro interno da un doppio corridoio, tra cui il modello A340 con 4 motori, il A330 con due motori e il A380 composto da due piani e sostenuto da 4 motori. L'altra casa produttrice molto importante a livello mondiale è Boeing, fondata nel 1916 negli Stati Uniti, e impegnata fortemente alla progettazione di aeromobili civili. Il primo velivolo prodotto fu l'idrovolante Clipper da 90 posti utilizzato per i tragitti Stati Uniti – Inghilterra. Negli anni 50 Boeing progettò il modello B707 sostenuto da quattro motori turbofan e in grado di trasportare fino a 189 passeggeri. Un altro modello progettato è il B727 avente tre motori e capace di trasportare 189 passeggeri. Nel 1966 viene invece progettato il B747 ("Queen of the Skies") a due piani e con quattro motori. Altri modelli prodotti da Boeing sono il B757, B767, B737, B777, B717 e il B787 Dreamliner. Una volta elencati i vari prodotti delle due più importanti case produttrici di aeromobili possiamo confrontare le emissioni di due di questi velivoli e un aereo di tipo militare. Vengono confrontate le emissioni del Boeing 737 (Figura 4), ossia l'aereo più venduto al mondo (15000 unità vendute), l'Airbus 320 (il secondo aereo più venduto, figura 5) e un aereo di tipo militare, il Lockheed C-130 Hercules (figura 6).



Figura 4 - Boeing 737



Figura 5 – Airbus 320



Figura 6 - Lockhees C-130 Hercules

Nella tabella 5 vengono riportate le quantità di sostanze emesse da molte tipologie di aeromobili.

| TABLE 1 DEFAULT FUEL USE AND EMISSION FACTORS FOR SOME AIRCRAFT TYPES FOR LTO CYCLE. KG/LTO | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------|---------|-------------------------------|---------|
| Aircraft type ^{a)} | CO ₂ | CH ₄ ^{b)} | N ₂ O ^{c)} | NO _x | CO | NMVOCs | SO ₂ ^{d)} | Fuel |
| A300 | 5470 | 1.0 | 0.2 | 27.21 | 34.4 | 9.3 | 1.7 | 1730 |
| A310 | 4900 | 0.4 | 0.2 | 22.7 | 19.6 | 3.4 | 1.5 | 1550 |
| A320 | 2560 | 0.04 | 0.1 | 11.0 | 5.3 | 0.4 | 0.8 | 810 |
| BAC1-11 | 2150 | 6.8 | 0.1 | 4.9 | 67.8 | 61.6 | 0.7 | 680 |
| BAe 146 | 1800 | 0.16 | 0.1 | 4.2 | 11.2 | 1.2 | 0.6 | 570 |
| B707* | 5880 | 9.8 | 0.2 | 10.8 | 92.4 | 87.8 | 1.9 | 1860 |
| B727 | 4455 | 0.3 | 0.1 | 12.6 | 9.1 | 3.0 | 1.4 | 1410 |
| B727* | 3980 | 0.7 | 0.1 | 9.2 | 24.5 | 6.3 | 1.3 | 1260 |
| B737-300 | 2905 | 0.2 | 0.1 | 8.0 | 6.2 | 2.0 | 0.9 | 920 |
| B737* | 2750 | 0.5 | 0.1 | 6.7 | 16.0 | 4.0 | 0.9 | 870 |
| B737-400 | 2625 | 0.08 | 0.1 | 8.2 | 12.2 | 0.6 | 0.8 | 830 |
| B747-200 | 10680 | 3.6 | 0.3 | 53.2 | 91.0 | 32.0 | 3.4 | 3380 |
| B747* | 10145 | 4.8 | 0.3 | 49.2 | 115 | 43.6 | 3.2 | 3210 |
| B747-400 | 10710 | 1.2 | 0.3 | 56.5 | 45.0 | 10.8 | 3.4 | 3390 |
| B757 | 4110 | 0.1 | 0.1 | 21.6 | 10.6 | 0.8 | 1.3 | 1300 |
| B767 | 5405 | 0.4 | 0.2 | 26.7 | 20.3 | 3.2 | 1.7 | 1710 |
| Caravelle* | 2655 | 0.5 | 0.1 | 3.2 | 16.3 | 4.1 | 0.8 | 840 |
| DC8 | 5890 | 5.8 | 0.2 | 14.8 | 65.2 | 52.2 | 1.9 | 1860 |
| DC9 | 2780 | 0.8 | 0.1 | 7.2 | 7.3 | 7.4 | 0.9 | 880 |
| DC10 | 7460 | 2.1 | 0.2 | 41.0 | 59.3 | 19.2 | 2.4 | 2360 |
| F28 | 2115 | 5.5 | 0.1 | 5.3 | 54.8 | 49.3 | 0.7 | 670 |
| F100 | 2340 | 0.2 | 0.1 | 5.7 | 13.0 | 1.2 | 0.7 | 740 |
| L1011* | 8025 | 7.3 | 0.3 | 29.7 | 112 | 65.4 | 2.5 | 2540 |
| SAAB 340 | 945 | 1.4(E) | 0.03(E) | 0.3(E) | 22.1(E) | 12.7(E) | 0.3(E) | 300 (E) |
| Tupolev 154 | 6920 | 8.3 | 0.2 | 14.0 | 116.81 | 75.9 | 2.2 | 2190 |
| Concorde | 20290 | 10.7 | 0.6 | 35.2 | 385 | 96 | 6.4 | 6420 |
| GAjet | 2150 | 0.1 | 0.1 | 5.6 | 8.5 | 1.2 | 0.7 | 680 |

Tabella 5 – Sostanze emesse da varie tipologie di aeromobili

Il Lockheed C-130 Hercules è un aereo da trasporto tattico militare utilizzato da circa cinquanta aeronautiche militari nel mondo, tra cui quella degli Stati Uniti e quella Italiana, prevalentemente per trasportare truppe e materiali. La tabella 6 riporta le quantità di alcune sostanze inquinanti emesse da questo aereo nelle diverse fasi di volo.

Average emission factors for inorganic gases (g kg⁻¹ fuel).

| Engine power | CO ₂ | CO | NO ^a | NO _x |
|------------------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|
| C-130H | | | | |
| Low speed ground idle | 3074 | 27.4 | 0.3 | 4.2 |
| High speed ground idle | 3149 | 5.4 | 4.0 | 6.3 |
| Flight idle | 3149 | 4.5 | 4.3 | 6.2 |
| Cruise | 3156 | 1.9 | 6.4 | 7.9 |
| Maximum power | 3156 | 1.5 | 7.4 | 8.8 |

Tabella 6 – Quantità di sostanze emesse dal Lockheed C-130 Hercules

Osservando le tabelle 5 e 6 possiamo notare che l'aereo di tipo militare emette una quantità superiore di sostanze inquinanti rispetto al Boeing 737 e all'Airbus 320, soprattutto per quanto riguarda CO₂ e CO.

CAPITOLO 4 – FLUSSO AEREO E CONSUMI

4.1 – DATI GENERALI FLUSSO AEREO

Per comprendere correttamente i consumi emessi dai velivoli bisogna innanzitutto avere un'idea della quantità di voli effettuati nei diversi anni: vengono dunque presi in esame i voli effettuati tra il 2005 e il 2010 e si analizza l'andamento del numero di voli e delle sostanze inquinanti (soprattutto CO₂) per cercare di stimare le emissioni degli aerei nel 2020 e 2021. Per questi due anni si ha a disposizione infatti solo i dati del traffico aereo. Nella tabella 7 vengono riportati i numeri di voli effettuati in Italia (nazionali ed internazionali).

| Anno | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Numero voli | 1348715 | 1419875 | 1532987 | 1468880 | 1382289 | 1433221 |

Tabella 7 – Numero voli effettuati in Italia nei diversi anni

Questi voli hanno prodotto nei diversi anni un diverso quantitativo di CO₂ come vediamo rappresentato nella Figura 7.

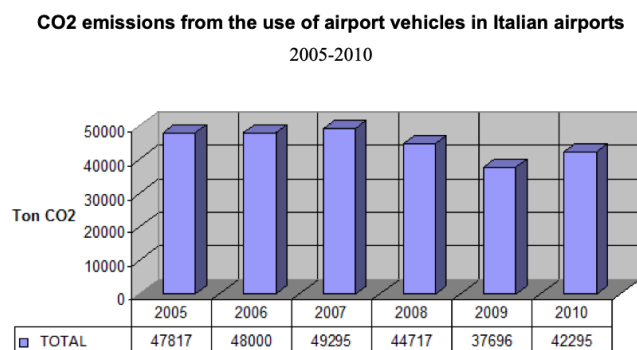


Figura 7 – Emissioni di CO₂ dal 2005 al 2010

Una volta raccolti questi dati possiamo ricavare la quantità di aerei necessari per consumare una tonnellata di CO₂ facendo il rapporto tra il numero di voli e la quantità totale di CO₂ emessa in quell'anno. Compiendo questa operazione si ottengono i seguenti risultati (tabella 8):

| | | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Anno | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| Coefficiente | 28,21 | 29,58 | 31,10 | 32,85 | 36,67 | 33,89 |

Tabella 8 -Coefficiente ottenuto per ogni anno

Possiamo notare che col passare degli anni servono sempre più aerei per consumare una tonnellata di CO₂. Per estendere l'andamento del coefficiente fino agli anni 2020 e 2021 occorre riportare i numeri dei voli effettuati in Italia tra il 2010 e il 2021 (Tabella 9):

| | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Anno | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Numero voli | 1450523 | 1401663 | 1322753 | 1335684 | 1336610 |
| 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 1332388 | 1364564 | 1413466 | 1644150 | 703751 | 947383 |

Tabella 9 – Numero di voli effettuati in Italia tra il 2010 e il 2021

A questo punto si può estendere il valore del coefficiente fino al 2020-2021 tenendo conto del suo andamento dal 2005 al 2010 (Tabella 10):

| | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Anno | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Coefficiente | 35,515 | 36,978 | 38,441 | 39,904 | 41,367 |
| 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 42,83 | 44,293 | 45,756 | 47,219 | 48,682 | 50,145 |

Tabella 10 - Valore del coefficiente tra gli anni 2011 e 2021

Dai dati appena riportati, si può constatare che nel 2021 c'è stato un leggero aumento, rispetto al 2020, dei voli effettuati ma tale numero, se comparato con i dati prima della pandemia da COVID-19 (2019), è molto diminuito. In conseguenza dell'abbassamento del numero di voli si sono dunque ridotte anche le quantità di CO₂ emessa. Utilizzando i coefficienti ottenuti in tabella 10 e i dati sui voli dal 2011 al 2021 si ottiene una stima delle tonnellate di CO₂ emesse dagli aerei in questi anni (tabella 11):

| | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Anno | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Consumo CO2 (tonnellate) | 40843 | 37905 | 34410 | 33472 | 32311 |
| 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 31109 | 30808 | 30891 | 34820 | 14456 | 18893 |

Tabella 11 – Consumo di CO₂ nei seguenti anni

Questi dati stimati se confrontati con i dati del 2005-2010 portano ad affermare che le emissioni di CO₂ negli ultimi anni si sono ridotte sia perché si sono ridotti i voli effettuati (causa pandemia) sia per l'andamento decrescente del consumo di CO₂ per ogni aereo utilizzato.

4.2 – FLUSSI ED EMISSIONI DELL'AEROPORTO DI VENEZIA

Una volta analizzati in senso generale i flussi e consumi aerei possiamo analizzare in particolare il caso dell'Aeroporto Marco Polo di Venezia. Nella tabella 12 vengono riportati i dati di voli effettuati e traffico passeggeri degli ultimi anni nell'Aeroporto Veneziano:

| | 2019 | 2021 | 2022 | Δ % su 2019 | Δ % su 2021 |
|-----------------------|-----------|---------|---------|-------------|-------------|
| VENEZIA - SAVE | | | | | |
| Movimenti | 11.629 | 2.419 | 6.763 | -41,8% | 179,6% |
| Passeggeri | 1.256.850 | 126.085 | 592.741 | -52,8% | 370,1% |
| Tonnellaggio | 848.592 | 153.297 | 471.137 | -44,5% | 207,3% |
| Cargo (Tons) | 9.570 | 5.816 | 7.112 | -25,7% | 22,3% |

Tabella 12 – Dati sui voli effettuati nell'Aeroporto Marco Polo di Venezia

Si può dunque osservare che, come successo in generale in Italia, i voli, rispetto al 2019, sono calati ma nel 2022 sono tornati ad aumentare.

Nella figura 8 invece sono riportate le rotte principali degli aerei in fase di atterraggio (linee blu, STAR: Standard Terminal Arrival Routes) e decollo (linee rosse, SID: Standard Instrumental Departure) dall'aeroporto di Venezia utilizzando i dati forniti da AIP italia.

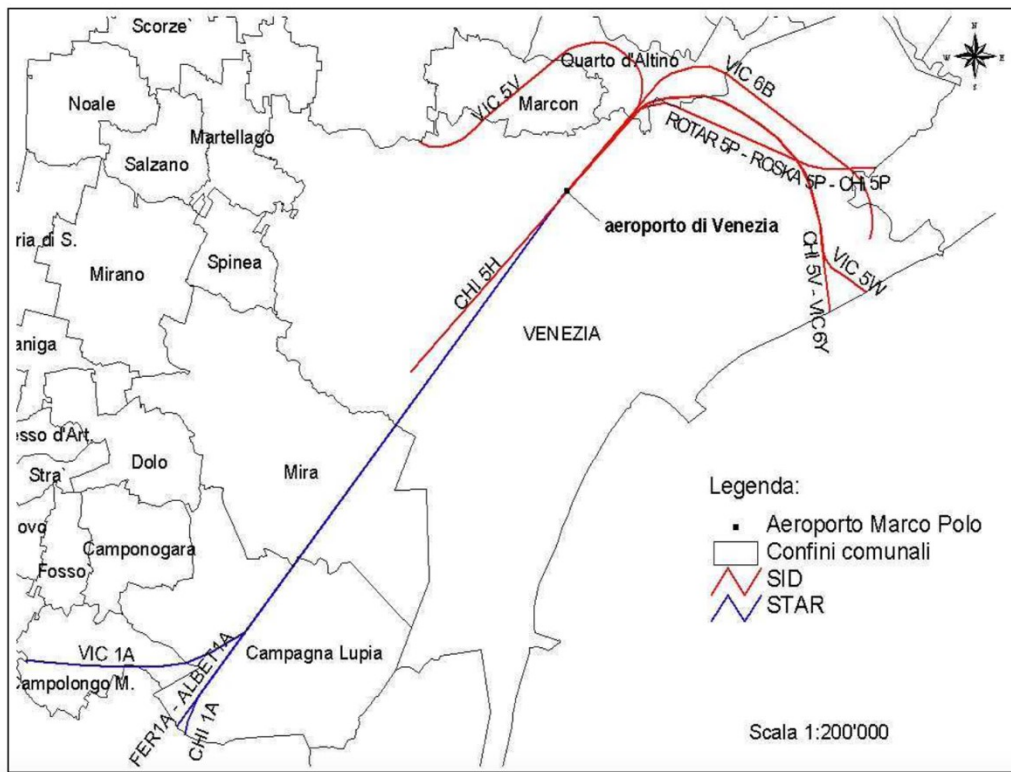


Figura 8 – Rotte degli atterraggi e dei decolli presso l’Aeroporto di Venezia.

Oltre ai dati di flusso bisogna osservare anche i dati relativi all’emissioni di sostanze inquinanti da parte dei velivoli in partenza e in arrivo a Venezia. Per misurare questi dati vi è una postazione di misura (centralina EZIPM) delle sostanze chimiche ed è localizzata a sud-ovest del terminal (latitudine $45^{\circ} 30' 02.47''$, longitudine $12^{\circ} 20' 06.69''$), presso la darsena per i collegamenti via acqua tra l’aeroporto e Venezia (Figure 9 e 10).



Figura 9 – Postazione della centralina per il rilievo dei dati di inquinamento.



Figura 10 – Fotografia della centralina per il rilievo dei dati di inquinamento presso l'Aeroporto di Venezia.

La postazione di misura è equipaggiata con la strumentazione necessaria al monitoraggio, ovvero:

- Sistema di prelievo e trattamento del campione (sonda riscaldata per evitare la presenza di condense),
- Acquisitore (Ecoremote – Project Automation),
- Modem GSM per trasmissione, controllo e validazione dati,
- Analizzatori automatici di tutte le sostanze chimiche inquinanti.

Grazie a questa postazione di misura si sono potute ricavare le quantità di sostanze inquinanti emesse dall'aeroporto e i dati del 2021 sono riportati nella tabella 13:

| | SO₂ | PM_{2,5} | PM₁₀ | O₃ | NO | NOX | NO₂ | BENZENE | CO |
|-----------|-----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ |
| Gennaio | 1 | 19 | 52 | 27 | 25 | 70 | 31 | 0,6 | 1,06 |
| Febbraio | 1 | 17 | 64 | 35 | 16 | 53 | 29 | 2,6 | 0,89 |
| Marzo | 1 | 13 | 44 | 65 | 6 | 31 | 22 | 2,1 | 0,86 |
| Aprile | 1 | 9 | 22 | 90 | 1 | 14 | 12 | 1,2 | 0,33 |
| Maggio | 0 | 8 | 14 | 85 | 1 | 11 | 9 | 0,5 | 0,42 |
| Giugno | 0 | 10 | 30 | 97 | 3 | 17 | 13 | 2,1 | 0,53 |
| Luglio | 0 | 10 | 27 | 90 | 1 | 20 | 18 | 2,3 | 0,58 |
| Agosto | 0 | 8 | 21 | 82 | 5 | 25 | 18 | 1,6 | 0,61 |
| Settembre | 1 | 11 | 26 | 66 | 5 | 37 | 29 | 1,8 | 0,58 |
| Ottobre | 1 | 12 | 29 | 39 | 12 | 49 | 31 | 1,8 | 0,64 |
| Novembre | 1 | 13 | 26 | 27 | 22 | 67 | 33 | 1,9 | 0,7 |
| Dicembre | 1 | 16 | 44 | 13 | 51 | 113 | 35 | 2,6 | 1 |

Tabella 13 – *Quantità di sostanze emesse dall'aeroporto di Venezia nel 2021*

Utilizzando questi dati mensili possiamo ricavare le medie annuali per ogni sostanza e, confrontandole con i limiti di legge trattati precedentemente, si può notare che solamente la sostanza NO_x (media di $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$) supera il limite di legge ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se prendiamo in particolare questa sostanza (NO_x , ovvero tutti gli ossidi di azoto e le loro miscele) possiamo osservarne il suo andamento durante l'anno 2021 nel grafico di Figura 11, nel quale sono riportati in ascissa i mesi dell'anno e in ordinata la quantità di sostanza emessa (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

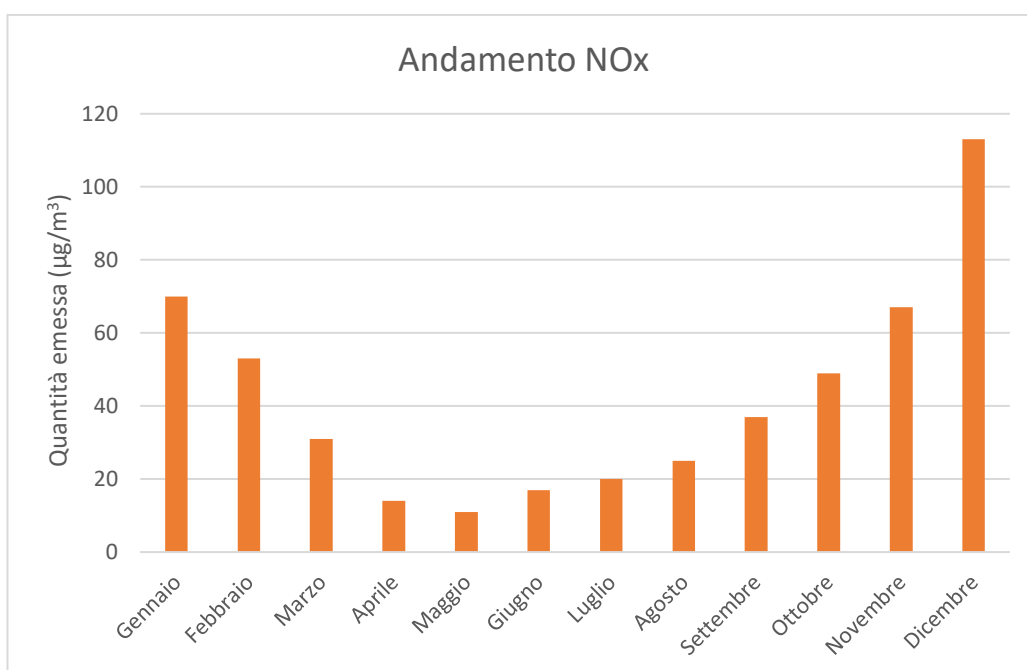


Figura 11 – L'andamento del No_x nel 2021.

Dal grafico di Figura 11 si può evidenziare che questa sostanza inquinante è stata maggiormente emessa nei mesi iniziali e finali del 2021, mentre nella parte centrale dell'anno è caratterizzata da valori inferiori.

Per avere una visuale generale di tutte le sostanze emesse si può creare un grafico a dispersione con linee curve e indicatori in modo tale da osservarne il loro andamento durante il 2021 (Figura 12).

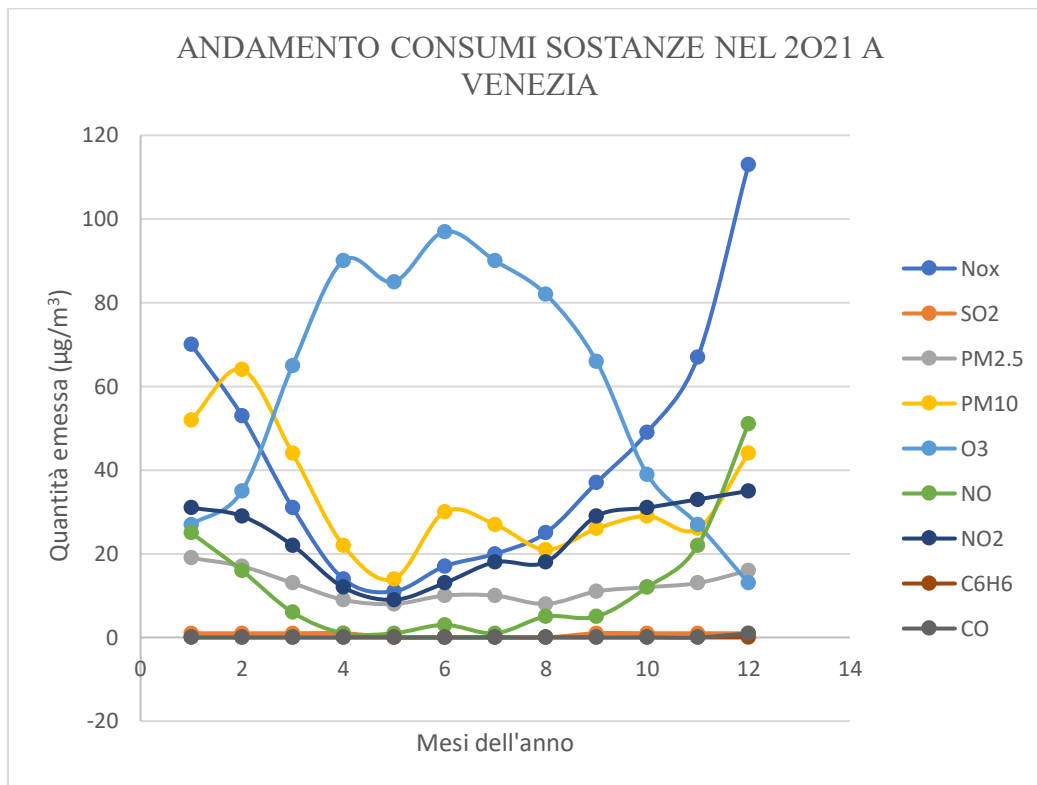


Figura 12 – L'andamento delle sostanze inquinanti nel 2021.

Come visto nel caso dell'NO_x, anche i valori di molte altre sostanze inquinanti (ad esclusione dell'ozono O₃) sono superiori nei mesi iniziali e finali dell'anno rispetto ai mesi centrali.

Una volta studiate le sostanze emesse dall'aeroporto si può osservare, tramite una foto satellitare modificata, la diffusione del Biossido di Azoto (NO₂) nelle zone limitrofe all'aeroporto per capire dunque la dispersività delle emissioni prodotte dall'aeroporto (Figura 13).

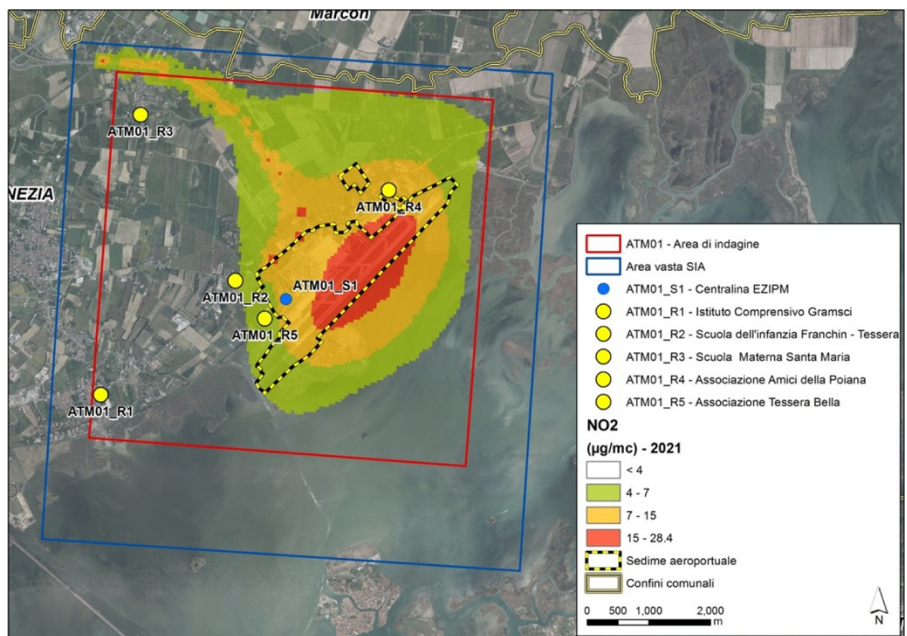


Figura 13 – Diffusione del NO₂.

Ci si accorge che la sostanza inquinante di cui si fa riferimento è molto presente nei pressi dell'aeroporto e nel vicino paese di Tesserà. Vi è una presenza inferiore di NO₂ a Praello (una frazione nel comune di Marcon) e nella zona commerciale di Marcon-Gaggio.

CAPITOLO 5 – POSSIBILI SOLUZIONI PER RISOLVERE IL PROBLEMA

5.1– INTRODUZIONE ALLE PROBLEMATICHE

Il traffico aereo comporta una serie di problematiche ambientali dovute all'inquinamento generato dagli aerei, tra cui: il rumore, l'inquinamento atmosferico e l'emissione di gas serra. Il raggiungimento della sostenibilità è sicuramente un investimento importante per il settore ma è un passo necessario per contrastare il consumo di risorse naturali e permetterci di continuare a volare negli anni futuri. Molti esponenti e movimenti ambientalisti sorreggono l'idea di un'insostenibilità del settore aereo affermando che una riconversione ecologica è impossibile e dunque la soluzione sarebbe quella di rinunciare a volare utilizzando dei mezzi di trasporto che comportano meno emissioni. Di tutt'altro partito sono invece le compagnie aeree che mostrano una maggior sensibilità verso le questioni ambientali. Per cercare di ridurre il problema delle emissioni, negli ultimi anni si stanno compiendo studi e ricerche con l'intento di sviluppare nuovi aerei a emissioni zero, ricerca di nuovi carburanti e miglioramento dei velivoli già esistenti. L'obiettivo (Green Deal fissato dall'unione europea: Emissioni zero) prevede un taglio del 75% delle emissioni per i voli a lungo raggio e del 60% per quelli a corto raggio entro il 2050. Secondo un'analisi del Columbia Threadneedle Investment, nel 2019 il settore aereo ha utilizzato l'8% di tutto il petrolio consumato a livello mondiale, ossia quasi 7,5 milioni di barili al giorno. Nel 2020 invece vi è stato un calo del 39% del consumo di carburante causato dalla pandemia e quindi dal fatto che gli aerei delle compagnie aeree sono rimasti a terra. Col passare del tempo e il miglioramento delle condizioni sanitarie la popolazione mondiale tornerà a muoversi anche più degli ultimi anni ed è per questo motivo che si deve intervenire con normative stringenti per ridurre i consumi prodotti dal traffico aereo.

Una soluzione efficace per ridurre significativamente le emissioni del settore aereo è quella di investire in carburanti sostenibili. Dato che non è pensabile sostituire tutti gli attuali aeromobili è necessario e utile trovare una forma di combustibile che possa essere utilizzato nel serbatoio degli attuali aerei. Negli ultimi anni gli sforzi dell'industria hanno permesso di migliorare l'efficienza dei carburanti: la quantità di combustibile bruciato per passeggero è infatti diminuita del 24% tra il 2005 e il 2017, in contrasto però il numero di passeggeri che è aumentato del 60%.

5.2– UTILIZZO DEI SUSTAINABLE AVIATION FUEL (SAF)

La soluzione più probabile al momento per cercare di ridurre le emissioni dei velivoli, è l'utilizzo dei SAF, ossia carburanti sostenibili prodotti con rifiuti destinati alla discarica, come l'olio esausto da cucina e il grasso animale scartato che vengono miscelati con il normale combustibile fossile. Secondo uno studio del Columbia Threadneedle Investment, l'utilizzo dei SAF rappresenta l'unica via attualmente percorribile e permetterebbe di avviare il processo verso l'uso di tecnologie più avanzate come l'idrogeno. Il carburante sintetico (in inglese "Syntetic Aviation Fuel") viene utilizzato dagli aerei fino al 50% e miscelato con il carburante fossile. Il vantaggio di questa soluzione è che non devono essere modificati gli aerei e i motori già esistenti. Secondo la IATA, l'associazione internazionale delle compagnie aeree, già 45 velivoli stanno utilizzando SAF miscelato al carburante con il risultato di ridurre dell'80% i gas serra, mentre solamente i voli di KLM da Amsterdam a Madrid e di Lufthansa Cargo da Francoforte a Shanghai hanno utilizzato al 100% questo carburante. Quest'anno si prevede che saranno prodotti cento milioni di litri di carburante sintetico, ancora non sufficiente per il fabbisogno del trasporto aereo futuro. I combustibili sintetici sono dunque una buona soluzione per ridurre le emissioni ma hanno un lato negativo: la quantità di energia necessaria per produrli è elevatissima e quell'energia deve essere a basse emissioni di carbonio. Il settore aereo avrebbe bisogno di circa tre o quattro volte l'attuale energia rinnovabile esistente nel mondo per produrre carburante sintetico a sufficienza per soddisfare le esigenze del settore.

5.3– METODO DI SCAMBIO DELLE QUOTE DI EMISSIONE DELL’UE

Un metodo per cercare di ridurre le emissioni aeroportuali è il metodo di scambio delle quote di emissione dell’UE. Le emissioni di CO₂ prodotte dal trasporto aereo sono state incluse nel sistema di scambio delle quote di emissione dell’UE (ETS) dal 2012. Nell’ambito del sistema ETS dell’UE, tutte le compagnie aeree che operano in Europa sono impegnate a controllare, comunicare e verificare le loro emissioni e a restituire le quote rispetto a tali emissioni. Esse ricevono delle quote scambiabili che coprono un certo livello di emissioni dei loro voli all’anno. Il sistema ETS funziona così: una volta l’anno, tutte le imprese che partecipano devono restituire una quota di emissione per ogni tonnellata di CO₂ emessa. Se una società non rispetta gli obblighi di conformità vengono applicate sanzioni pesanti mentre le società che fanno difficoltà a coprire le emissioni prodotte possono scegliere tra diverse opzioni:

- adottare misure per ridurre le proprie emissioni, investendo in tecnologie più efficienti e a basso rilascio di CO₂,
- acquistare le quote necessarie dalle aste o dal mercato EU ETS.

Questo sistema favorisce la riduzione delle sostanze emesse dai velivoli delle varie compagnie aeree in quanto incentivate a rispettare determinate condizioni se non vogliono ricorrere a sanzioni pesanti. Ad ora questo sistema ha contribuito a ridurre i consumi di carbonio di oltre 17 milioni di tonnellate all’anno per il settore aereo.

5.4 – METODO DELLE COMPENSAZIONI

Nell’ottobre 2016, l’Organizzazione per l’Aviazione Civile Internazionale (ICAO) ha approvato un metodo di compensazione per contrastare le emissioni di CO₂ prodotte dal settore aereo a partire dal 2021. Questa soluzione punta a stabilizzare le emissioni di CO₂ ai livelli del 2020 imponendo alle compagnie aeree di compensare la crescita delle loro emissioni dopo il 2020.

Con questo metodo le compagnie aeree sono tenute a:

- Monitorare le emissioni su tutte le rotte,
- Compensare le emissioni delle rotte finanziando dei progetti che portano a ridurre le emissioni in altri settori (ad esempio le energie rinnovabili).

La compensazione non è solamente rivolta alle compagnie aeree ma anche ai passeggeri che vengono dunque invitati dalle stesse compagnie a finanziare, volontariamente, vari progetti a sostegno dell'ambiente. Una delle soluzioni più richieste è di compensare, ossia pagare per qualcosa che contribuisca a ridurre le emissioni in modo proporzionale a quelle rilasciate dai voli, investendo in energie rinnovabili o nella coltivazione di alberi in alcuni posti del mondo. Nel periodo 2021-2035 si stima che il sistema compenserà circa l'80% delle emissioni al di sopra dei livelli del 2020. A questo programma aderiscono tutti i paesi dell'UE sin dall'inizio.

5.5 – ZEROE

Una soluzione per risolvere il problema dell'inquinamento causato dall'attività aeroportuale è quella di progettare aerei con motori a idrogeno, l'elemento più abbondante sulla terra e che si trova in grandi quantità negli oceani, nei fiumi, nei laghi e nell'atmosfera. Sono dunque aeromobili alimentati da motori a turbina a gas modificati che bruciano idrogeno liquido come combustibile. Per testare il volo con motori a idrogeno, la nuova e più promettente frontiera del viaggio a impatto ambientale quasi zero, verrà utilizzato il primo prototipo dell'Airbus A380, l'aereo a due piani più grande al mondo. Il suo decollo è previsto nella seconda metà del 2026 mentre nel 2035 dovrebbe toccare ai velivoli con a bordo i passeggeri. Airbus, tramite qualche calcolo, ha stimato che l'idrogeno abbia il potenziale per ridurre le emissioni di CO₂ del trasporto aereo fino al 50%.

L'aereo in questione utilizzerebbe idrogeno liquido, un carburante che produce molta più energia del cherosene per aviazione ma non rilascia CO₂ quando viene utilizzato, e inoltre pesa circa un terzo del cherosene consentendo dunque all'aeromobile di aumentare la propria autonomia e ridurre gli scali a metà volo.

Ogni aereo dovrebbe possedere due grandi serbatoi di idrogeno liquido immagazzinato criogenicamente nella parte posteriore, con due serbatoi più piccoli nella parte anteriore per bilanciarlo. Solitamente negli aerei di linea comuni il carburante è immagazzinato nelle ali, ma posizionandolo nella parte anteriore e posteriore non vi è più la necessità di strutture aerodinamiche extra per mantenere il veicolo in volo. La progettazione di questi veicoli è comunque complessa soprattutto a causa della conservazione a temperature criogeniche dell'idrogeno e, anche se l'idrogeno comporta zero emissioni di carbonio durante la combustione, il metodo di produzione utilizza combustibili fossili e produce anidride carbonica. Per questi motivi si cercano altri metodi per rendere più sostenibile la produzione. Sono tre i prototipi di aeromobili ibridi ad idrogeno idealizzati: un aereo a turboelica (Figura 14) per i collegamenti regionali, uno a turboventola (Figura 15) e un jet di nuova concezione per i viaggi di media distanza (Figura 16).



Figura 14 – Turboelica (fino a 100 passeggeri, alimentato dalla combustione dell'idrogeno, per viaggi corti).



Figura 15 – Turboventola (120-200 passeggeri, per rotte intercontinentali).



Figura 16 – Jet con ali unite al corpo principale (200 passeggeri), cabina molto spaziosa, consuma 20% in meno di altri aeromobili a idrogeno.

In conclusione, si è potuto constatare che una soluzione ritenuta molto efficiente dal punto di vista dell'obiettivo Emissioni Zero è l'idrogeno. Il problema è il volume che occupa a bordo degli aerei, circa quattro volte quello del normale carburante e ciò complica la realizzazione dell'opera.

5.6 – VELIVOLO AD ENERGIA SOLARE

Un'altra idea per cercare di ridurre le emissioni causate dal trasporto aereo è la progettazione di un velivolo ad energia solare, un mezzo capace di percorrere ampie distanze e non inquinare. L'aereo ad energia solare "Solar impulse 2", nome in codice HB-SIB, è stato ideato in Svizzera dal Politecnico Federale di Losanna ed è un velivolo ultraleggero quadrimotore ad ala alta che viaggia senza l'utilizzo e consumo di carburante (Figura 17).



Figura 17 – Velivolo ad energia solare.

Bertrand Piccard diede il via al progetto Solar Impulse nel 2003, ma da allora il gruppo di lavoro è cresciuto fino a divenire un gruppo di lavoro multidisciplinare. Il velivolo progettato è rivestito da 17248 celle fotovoltaiche in silicio monocristallino della Sunpower®, una multinazionale molto importante del settore

energetico-solare, e sono collegate lungo le ali, che sono caratterizzate da una notevole lunghezza pari a 72 metri.

L'energia raccolta da queste celle fotovoltaiche serve ad alimentare quattro motori elettrici. Per garantire il mantenimento della carica anche di notte, durante il giorno le celle fotovoltaiche trasferiscono l'energia all'interno di batterie al litio. Con questo sistema si garantisce al motore una velocità variabile tra i 36 km/h e i 140 km/h, con una quota massima raggiungibile di 1.670 metri. Tra il 7 e l'8 luglio 2010, il velivolo è stato testato ed ha volato per 24 ore, mantenendosi in volo durante la notte grazie alla carica accumulata durante il giorno. Il 13 maggio 2011 è stato protagonista di un viaggio durato 13 ore da Payerne (Svizzera) a Bruxelles. Nel 2015 i piloti Bertrand Piccard e Andre Borschberg hanno compiuto una circumnavigazione terrestre percorrendo 43.041 km in 23 giorni netti di volo (Il viaggio è iniziato il 9 marzo 2015 e terminato il 26 luglio 2016 ad Abu Dhabi). Una volta migliorata l'efficienza delle batterie, si potrà godere di una riduzione del peso e ciò consentirà una circumnavigazione non-stop, senza scali. Viste le dimensioni di ali e corpo, l'aereo non consente di viaggiare con tante persone a bordo e dunque non può essere ancora utilizzato per effettuare trasporto passeggeri.

CONCLUSIONI

Nel presente elaborato si è discusso sul tema dell'inquinamento ambientale causato dall'attività aeroportuale. Analizzando le varie sostanze inquinanti emesse, si è potuto constatare l'importanza e l'influenza di queste attività in relazione alla qualità ambientale e climatica.

Confrontato con altri mezzi di trasporto, l'aereo è infatti il mezzo maggiormente inquinante nel rapporto passeggero-chilometro (285 g di CO₂/passeggero/km).

In più esso, se confrontato con l'inquinamento dovuto al traffico veicolare, è soggetto ad una maggior dispersione delle sostanze inquinanti prodotte.

Nell'elaborato è stato posto l'accento sui seguenti dati:

- le quantità di sostanze inquinanti emesse dal trasporto aereo
- i numeri di voli effettuati nei diversi anni

Riportando i dati dei voli effettuati (In Italia e in particolare nell'aeroporto Marco Polo di Venezia) è stato possibile osservare come il traffico aereo sia sempre stato un fenomeno in ascesa, in quanto il numero di voli effettuati era soggetto ad un andamento crescente, a differenza degli ultimi anni (2019-2021) nei quali esso ha subito un rallentamento dovuto a ovvie ragioni igienico-sanitarie.

A partire dai dati riguardanti il numero di voli effettuati si è poi giunti ad analizzare e studiare le varie quantità di sostanze inquinanti emesse, la loro distribuzione nell'arco di un anno, il loro metodo di misurazione e i valori limite di legge che esse devono rispettare.

Nella parte finale dell'elaborato si è voluto porre attenzione ad eventuali soluzioni che hanno l'intento di ridurre la quantità di sostanze inquinanti emesse dal traffico aereo e cercare quindi di risolvere, in parte, questa problematica.

Tra le varie soluzioni illustrate la più probabile al momento è quella che prevede l'utilizzo dei SAF, ossia carburanti sostenibili, in quanto utilizzabili senza che si debbano modificare aerei e motori già esistenti. Anche questa soluzione però, come altre illustrate, presenta un lato negativo:

la quantità di energia necessaria per produrre questi carburanti è elevatissima e quell'energia deve essere a basse emissioni di carbonio.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

<https://www.controlsecurityambiente.com/inquinamento-atmosferico-aereo/>
<https://www.am.pictet.it/blog/articoli/sviluppo-sostenibile/inquinamento-del-traffico-aereo-quanto-impatta-sull-ambiente>
https://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-veneziana/aria/Realizzazione_tecnica_emissioni_aeroportuali.pdf
<https://ambiente.veneziaairport.it/temi-ambientali/aria/monitoraggio-incorso.html>
<https://www.italiarimborso.it/curiosita/airbus-e-boeing-ma-non-solo-quali-sono-i-produttori-di-aerei-1716>
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_5_Aircraft.pdf
<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA637007.pdf>
https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Action-Plan/Italy_AP_En.pdf
<https://www.enac.gov.it/trasporto-aereo/compagnie-aeree/dati-di-traffico>
<https://www.enac.gov.it/sites/default/files/allegati/2021->
https://ambiente.veneziaairport.it/upload/files/sito_ambiente/aria/documents/pma_atm.pdf
<https://ambiente.veneziaairport.it/temi-ambientali/aria/monitoraggio-incorso.html>
<https://www.bcdtravel.com/move-it/saf-e-la-soluzione-per-limpatto-zero-degli-aeromobili/>
https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation_it?etrans=it
<https://www.ilpost.it/2021/05/09/compensazione-emissioni-foreste-compagnie-aeree/>
<https://tecnologia.libero.it/flyzero-aereo-a-zero-emissioni-51740>
<https://www.aviation-report.com/zeroe-la-visione-di-airbus-sul-primo-aereo-commerciale-al-mondo-a-zero-emissioni-e-alimentato-ad-idrogeno/>

<https://www.secondamanoitalia.it/vivere/questo-aereo-fotovoltaico-ha-fatto-il-giro-del-mondo-senza-una-goccia-di-carburante/>