



**UNIVERSITÀ GIUSTINO FORTUNATO**

D.M. 13 aprile 2006 - G.U. n° 104 del 6/05/2006 - TELEMATICA

**Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie del Trasporto Aereo**

*Tesi di laurea in NORME E PROCEDURE ATC*

**PIANIFICAZIONE DI UN VOLO E SOSTENIBILITA' AMBIENTALE**

Relatore: Ch.mo Prof. Costantino Senatore

Candidato Sergio Velotto matr. n. 05/00357

**Anno Accademico 2022/2023**

## LESS IS MORE

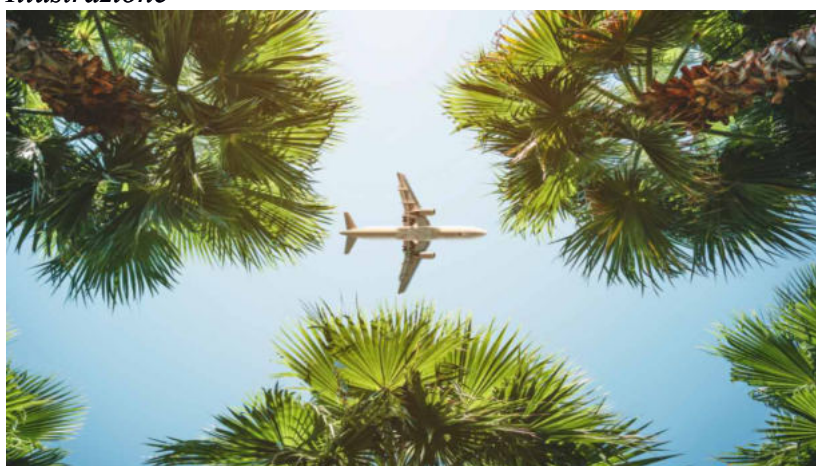
Tra le tante sfide che stanno mettendo alla prova il genere umano di quest'epoca la sfida ambientale è probabilmente la più avvincente. L'impatto ambientale che l'uomo ha generato negli anni con la sua presenza è diventato influente ed insostenibile nei confronti di diversi processi naturali.

Il settore dell'aviazione, emblema del progresso tecnologico del ventesimo secolo e del successo dell'uomo in continue imprese sempre più proibitive, è diventato uno dei settori dal quale ci si aspetta di più e più velocemente anche dal punto di vista della sostenibilità ambientale. Proprio per questo motivo si è generata una spinta di accelerazione verso concept diversi di aeromobili, di procedure, dei sistemi di comunicazione e sorveglianza e delle modalità di pianificazione di un volo. Nel presente elaborato si tratta appunto la tematica della sostenibilità e quali sono stati gli approcci e le misure intraprese nel settore dell'aviazione in termini di crescita organizzativa, nuove strutture di spazio aereo e procedure di volo innovative.

Nella parte finale, quale elemento di concretezza, si è portato l'esempio dell'Aeroporto di Napoli nel percorso di crescita verso la decarbonizzazione, processo realizzato con lo studio e successiva implementazione della nuova procedura antirumore.

La percezione che si ha ragionando sull'insieme può essere riassunto in “less is more”. La consapevolezza è di dover progredire utilizzando meno risorse, sfruttare la tecnologia a disposizione per rendere sempre più efficienti i sistemi e i processi tagliando il superfluo e avvalendosi di soluzioni semplici e mirate.

*Illustrazione*



## SIGLE E ABBREVIAZIONI

ACA: Airport Carbon Accreditation;  
ANSP: Air Navigation Service Provider;  
ATM: Air Traffic Management;  
CCO: Continuous Climb Operations;  
CDO: Continuous Descent Operations;  
CFMU: Central Flow Management Unit;  
DME: Distance Measuring Equipment;  
EASA: European Union Safety Agency;  
EEA: European Environment Agency;  
EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service;  
EMAS: Eco-Management and Audit Scheme;  
ENAC: Ente Nazionale Aviazione Civile;  
ENAV: Ente Nazionale Assistenza al Volo;  
FAB: Functional Airspace Block;  
FATO: Final Approach and Take-off Area;  
FUA: Flexible Use of Airspace;  
GNSS: Global Navigation Satellite System;  
GPS: Global Positioning System;  
ICAO: International Civil Aviation Organization;  
ICCT: International Council on Clean Transportation;  
IFR: Instrument Flight Rules;  
ILS: Instrument Landing System;  
IRS: Inertial Reference System;  
NDB: Non Directional Beacon;  
ONU: Organizzazione Nazioni Unite;  
PBN: Performance Based Navigation;  
RNAV: Area Navigation;  
RNP: Required Navigation Performance;  
SID: Standard Instrument Departure Route;  
STAR: Standard Terminal Arrival;  
SWIM: System Wide Information Management;  
VFR: Visual Flight Rules;  
VOR: VHF Omnidirectional Radio Range;

## INTRODUZIONE

Tra le maggiori sfide del nostro secolo si sono rivelate preponderanti la salvaguardia dell'ambiente, il decremento dell'impatto ambientale, ed il concetto di sostenibilità. Affondano le loro radici nei prodromi del pensiero alle origini del movimento ambientalista. Già dalla metà del '600 si sono presentati i primi segnali che hanno portato poi l'uomo a porsi domande sull'effetto delle proprie azioni sull'ambiente e del suo rapporto con esso.

Le prime forme di inquinamento del patrimonio forestale, il contrasto tra campagna e città, l'urbanizzazione selvaggia e lo sfruttamento industriale del suolo diventano oggetto di analisi critiche che testimoniano la graduale presa di coscienza per la salvaguardia del pianeta.

Le tappe che abbiamo visto sono state numerose e di natura diversa: l'invenzione a metà Ottocento di una disciplina scientifica, qual è l'ecologia; l'istituzionalizzazione di beni naturali come i parchi statunitensi a inizio Novecento; l'impegno degli organismi internazionali, indirizzato a responsabilizzare gli Stati dopo il Secondo conflitto mondiale; la lotta al DDT e ad altri agenti chimici rivelatisi pericolosi per la salute dell'uomo, in pieno miracolo economico; la nascita dei movimenti cosiddetti *verdi* negli anni Ottanta; le risposte tecnologiche alle crisi di maggior rilevanza, all'alba del nuovo Millennio.

Da questo percorso complesso che ha visto la spinta dei movimenti di protesta, da un lato, e dell'elaborazione di nuove analisi dall'altro, emerge una straordinaria consapevolezza collettiva, che continua a porre nuove sfide, anche tecnologiche, al complesso rapporto tra Uomo e Natura.

La sostenibilità nelle scienze ambientali ed economiche è stata definita come

la condizione di uno sviluppo in grado di assicurare il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri.

Tale concetto è stato introdotto nel corso della prima conferenza ONU sull'ambiente nel 1972, anche se soltanto nel 1987, con la pubblicazione del cosiddetto rapporto Brundtland, venne definito con chiarezza l'obiettivo dello sviluppo sostenibile che, dopo la conferenza ONU su ambiente e sviluppo del 1992, è divenuto il nuovo paradigma dello sviluppo stesso.

Insieme a tale paradigma, si è compreso in maniera chiara come la sostenibilità prima di tutto fosse un concetto dinamico, che comprende in sé cause e conseguenze e che necessitava di una crescita politica, sociale ed economica graduale.

Di pari passo, è apparso evidente che ogni settore della società, dell'economia e dell'ambiente fossero ognuno una componente del sistema sostenibile globale. Da qui si è cercato fin da subito di portare avanti un approccio olistico alla sostenibilità che non lasciasse indietro una delle componenti, ma che esaltasse l'obiettivo unico come conseguimento dei diversi obiettivi nei vari settori.



*Illustrazione 1: Apron di un aeroporto*

# 1 LA SFIDA AMBIENTALE PER IL TRASPORTO AEREO

## 1.1 LA SFIDA AMBIENTALE PER L'AVIAZIONE

Nel campo dell'aviazione, i primi segnali importanti anche in tema legislativo si sono avuti a partire dagli anni Novanta. Si è iniziata a porre particolare attenzione alla tutela dei cittadini dall'inquinamento. La legislazione europea si è concentrata sull'esposizione al rumore aeroportuale, considerato tra i più dannosi e, materia di assoluta attualità, si sta procedendo allo studio e allo sviluppo di soluzioni per il contenimento delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

A consolidare quanto si stava facendo in tale direzione, nel 1990, con direttiva 1210/1990 della CEE viene decisa la nascita dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA). Tale agenzia divenne poi operativa nel 1994 e negli anni si è dedicata alla fondazione di una rete di monitoraggio delle condizioni ambientali europee. E' governata da rappresentanti dei governi degli stati membri, un rappresentante della Commissione Europea, da scienziati designati dal Parlamento Europeo ed è assistita da un comitato di scienziati.

Ad oggi l'EEA, insieme con EASA ed Eurocontrol sono i tra gli attori principali della sostenibilità ambientale per l'aviazione in tema di monitoraggio, mitigazione e legislazione.



*Illustrazione 2: Boeing 747 in decollo*

Eurocontrol, attraverso lo sviluppo del FUA (Flexible Use of Airspace) e attraverso la gestione strategica ottimale dell'occupazione delle rotte e degli spazi aerei è di per sé un altro attore di primo piano nell'abbattimento dell'impatto ambientale nel settore dell'aviazione. La stessa gestione del CFMU<sup>1</sup>, permette non soltanto un vantaggio per gli stakeholders in termini di risparmio di carburante e di pianificazione volo ma permette sicuramente un abbattimento dei tempi di volo, con un conseguente abbattimento delle emissioni inquinanti di gas nocivi e di rumore.

Eurocontrol non si ferma solo a questo ma, migliorando e rendendo sempre più efficiente il coordinamento tra enti civili e militari, rende molto più ottimale l'utilizzo dello spazio aereo a disposizione ivi compreso le aree militari segregate o temporaneamente segregate. Questo sistema è applicato a diversi livelli con risultati più funzionali dal punto di vista strategico, con la standardizzazione e la facilitazione rese possibili con la costituzione, ad esempio, dei FAB in Europa; a livello tattico, con l'introduzione di tanti step di automazione nei processi di coordinamento e di tanta nuova tecnologia che permette uno scambio di dati molto più veloce ed integrato (vedi anche SWIM).

EASA non si dimostra essere un attore meno importante nel campo della riduzione dell'impatto ambientale, anzi, operando a livello tecnico e stimolando il ruolo di regolatore della Commissione Europea, riesce negli anni a proporre regolamenti sempre più efficaci e stringenti anche sugli aeroporti. EASA in questo modo estende gli interventi relativi al fattore inquinamento ambientale in volo anche ad aspetti che riguardano contesti quale gli aeroporti e le infrastrutture terrestri a supporto del traffico aereo.

<sup>1</sup> CFMU – Centralised Flow management Unit – organismo europeo centralizzato di gestione dello spazio aereo per l'organizzazione del traffico aereo nel cielo europeo

## 1.2 LE EMISSIONI ACUSTICHE

Una delle fonti di inquinamento causate dagli aeromobili è il rumore che essi stessi producono durante le normali operazioni di volo.

La problematica del rumore è sicuramente quella che causa il maggior numero di reazioni da parte dei cittadini e della Comunità nazionale ed internazionale in relazione all'espansione degli aeroporti e al continuo aumento del traffico aereo.

Di fatto, numerosi sono comunque gli interventi che vengono messi in atto per cercare di ridurre l'impatto ambientale degli aeromobili in termini di rumore prodotto. Un esempio è riportato nella parte finale di questo elaborato.

## 1.3 LE EMISSIONI GASSOSE

I motori degli aeromobili con il loro funzionamento producono emissioni gassose: ossido di azoto( $\text{NO}_x$ ), monossido di carbonio (CO), anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ), idrocarburi incombusti (HC) e altri fumi derivanti dalla combustione.

Gli effetti di tali emissioni possono contribuire ad influenzare negativamente sia i cambiamenti climatici a livello globale ma anche, localmente, la qualità dell'aria e le aree circostanti l'aeroporto.

L'impatto ambientale prodotto dall'aviazione, ad alta quota, è quello legato alla produzione di anidride carbonica (diossido di carbonio -  $\text{CO}_2$ ).

L'anidride carbonica è uno dei gas che sono normalmente presenti nell'atmosfera terrestre e che contribuiscono al cosiddetto "effetto serra" senza il quale, comunque, la vita sul nostro pianeta non sarebbe possibile. Va tuttavia considerato che un aumento eccessivo della presenza di gas serra nell'atmosfera terrestre porta come conseguenza un ulteriore innalzamento della temperatura con conseguenze solo parzialmente prevedibili.



A bassa quota invece i maggiori responsabili dell'inquinamento sono gli ossidi di azoto, il cui effetto sull'ambiente si aggiunge a quello sul rumore.

In sintesi gli aeromobili possono condizionare l'atmosfera, la qualità della vita delle popolazioni che vivono nelle vicinanze degli aeroporti e il patrimonio naturale.

Le emissioni di anidride carbonica prodotte dal trasporto aereo rappresentano circa il 3% delle emissioni globali di CO<sub>2</sub> prodotte dalle attività umane; è stato calcolato che per ogni Kg di carburante consumato da un motore a getto, vengono immessi in atmosfera 3,16 kg di CO<sub>2</sub>

#### 1.4 ALTRI FATTORI INQUINANTI

Oltre al rumore e al carburante consumato, le fonti di inquinamento attribuibili al sistema aviazione, e quindi alla crescita del traffico aereo, comprendono anche altri fattori.

Tra gli altri, i fattori inquinanti di seguito elencati sono conseguenti alla vita stessa degli aeromobili e determinano un impatto ambientale direttamente sul territorio delle aree circostanti l'aeroporto:

- oli usati
- batterie
- scarichi di bordo degli aeromobili
- residui sulla pavimentazione delle piste (ad es. sgommature, de-icing, verniciatura, urea)
- rifiuti sanitari
- rifiuti alimentari
- rifiuti solidi assimilabili a rifiuti urbani

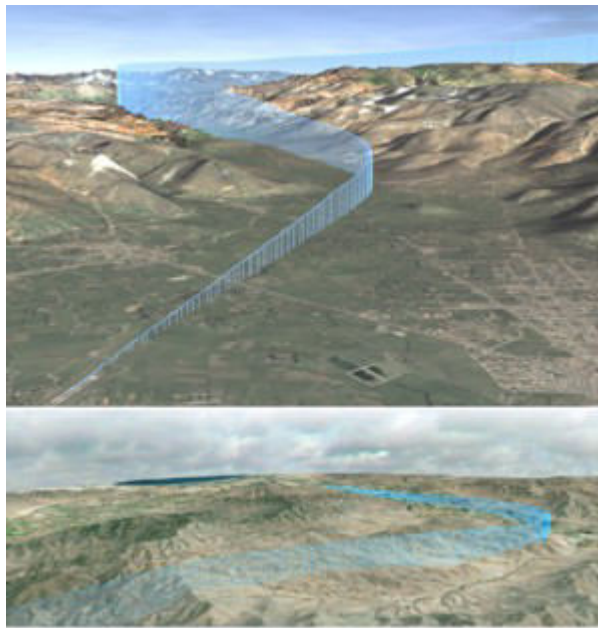
Al riguardo negli aeroporti si impiegano le cosiddette “best practices”, ossia interventi derivati da prassi consolidate e dall'esperienza.

L'esigenza di affrontare in modo strutturato le tematiche ambientali nelle varie attività, sia produttive che di servizio, ha portato alla definizione del concetto di gestione integrata nelle aziende nonché all'attuazione di una politica che tenga conto globalmente di tutti gli aspetti ambientali.

Questo orientamento trova ampia attuazione nella diffusione crescente dei sistemi di gestione ambientale secondo la norma internazionale ISO 14001 e il Regolamento (CE) n. 1221/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 novembre 2009 "sull'adesione volontaria delle organizzazioni a un sistema comunitario di ecogestione e audit (EMAS)"

## 2. LE TECNOLOGIE E L'EVOLUZIONE DELLA TECNICA PROCEDURALE

### 2.1 PIANO DI IMPLEMENTAZIONE PBN



*Illustrazione 3: Astrazione di percorsi di volo  
PBN*

La risoluzione A37-11 dell'assemblea dell'ICAO ha richiesto agli Stati membri di presentare piani nazionali di attuazione concernenti l'introduzione di procedure di navigazione basata sulle prestazioni (PBN).

Questa risoluzione ha incoraggiato gli Stati a sviluppare procedure di volo strumentale RNP e RNAV in rotta, nelle aree terminali e, in particolare, procedure di avvicinamento con guida verticale (APV) da implementare su tutte le estremità delle piste strumentali pertinenti.

Per ottemperare a tali requisiti è stata istituita in Italia una Task Force PBN, formata dall'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC), l'Air Navigation

Service Provider (ENAV) e la più grande compagnia aerea nazionale (Alitalia).

Il Piano di attuazione ha evidenziato i benefici che si ottengono all'interno dello Spazio Aereo Italiano.

Nella navigazione aerea convenzionale, l'aereo vola utilizzando segnali provenienti da ausili alla navigazione a terra; ma la progettazione del percorso e le procedure di volo nelle aree terminali, sono limitate proprio dal posizionamento a terra di tali infrastrutture di navigazione e dagli altri ausili alla navigazione, anch'essi dislocati al suolo.

Con il progresso tecnologico che ha contribuito all'incremento della capacità delle apparecchiature di bordo e con la contestuale evoluzione della navigazione satellitare, l'ICAO ha presentato il concetto di navigazione basata sulle prestazioni (PBN).

Il concetto PBN si riferisce ai requisiti prestazionali dell'aeromobile in termini di accuratezza, integrità, disponibilità, continuità e funzionalità del sistema per le operazioni lungo una determinata rotta, all'interno di una procedura di volo strumentale o di un particolare spazio aereo e con la disponibilità dell'infrastruttura di navigazione pertinente. L'introduzione del concetto PBN rappresenta pertanto il passaggio dalla navigazione basata sui sensori alla navigazione basata sulle prestazioni. Si è introdotto un cambio di prospettiva nel quadro degli aspetti ATM relativi alla navigazione e alle apparecchiature necessarie per operare all'interno degli spazi aerei lungo rotte e procedure.

L'obiettivo è la standardizzazione delle applicazioni di navigazione evitando un'inutile crescita di applicazioni, apparecchiature e standard ad-hoc.

Gli elementi chiave del concetto PBN sono:

- disponibilità di infrastrutture di navigazione: composta sia da lato volo (IRS, GNSS e così via) che da lato terra (aiuti alla navigazione convenzionali);

- definizione di specifiche di navigazione: prestazioni richieste in termini di navigazione, capacità del velivolo e dell'equipaggio. È la base per lo sviluppo dei requisiti di aeronavigabilità e di approvazione operativa. Specifica il tipo di apparecchiature di bordo necessarie per raggiungere il livello di prestazioni desiderato espresso in termini di requisiti di accuratezza, integrità, continuità e disponibilità. Inoltre, vengono posti requisiti nei confronti dell'equipaggio di condotta al fine di supportare il livello di prestazioni desiderato.
- applicazione di Navigazione: le rotte e le procedure che possono essere sviluppate all'interno di uno Spazio Aereo secondo i suddetti requisiti possono essere suddivise in applicazioni RNAV, dove non è richiesto alcun requisito di integrità, e applicazioni RNP, con requisiti di integrità.

L'implementazione e l'applicazione di PBN è anche collegato a un concetto di spazio aereo sviluppato proprio per supportare adeguatamente l'ambiente PBN sulla base delle linee guida indicate da ICAO ed Eurocontrol.

La maggior parte degli operatori in Europa e in Italia sono abilitati ad eseguire applicazioni di navigazione RNAV (in particolare RNAV 5/B-RNAV e RNAV 1/P-RNAV) mentre alcuni operatori sono già abilitati ad eseguire applicazioni RNP-APCH.

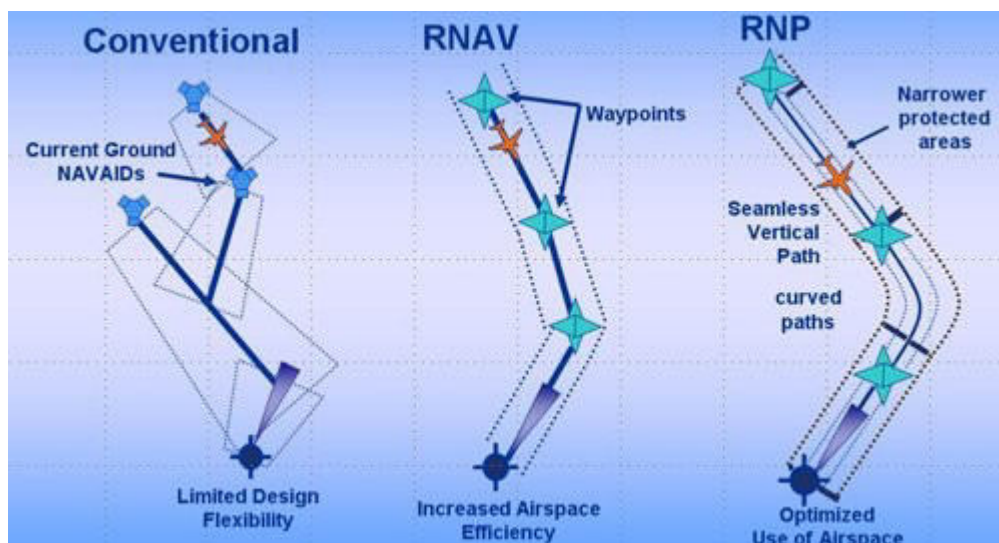


Illustrazione 4: Schematizzazione delle procedure convenzionali e PBN

La necessità dell'introduzione di procedure di volo strumentale basate su PBN deriva da diversi fattori, tra cui citiamo di seguito i più importanti:

- **Efficienza:** l'utilizzo del PBN in fase di rotta e soprattutto nelle aree terminali migliorerà la pianificazione del volo e i profili di volo, accorciando di fatto la distanza percorsa. Inoltre, ne risulterà una riduzione del carico di lavoro dei controllori del traffico aereo e dei piloti. Inoltre, senza alcuna diminuzione della sicurezza, il PBN consentirà un aumento del traffico.
- **Ambiente:** una migliore efficienza equivale a minori livelli di emissioni di carbonio inquinanti grazie al minor consumo di carburante. Con profili di volo più brevi e ottimali intorno agli aeroporti, è possibile ottenere significative riduzioni del rumore. In particolare la possibilità di ottenere una migliore separazione tra voli in partenza e voli in arrivo può migliorare e favorire l'utilizzo di CDO (Continuous descent operations) e CCO (continuous climb operations) ottenendo anche riduzioni di consumi di carburante e di inquinamento.
- **Miglioramento della disponibilità dello spazio aereo:** le procedure PBN ottimizzeranno la struttura di progettazione dello spazio aereo con vantaggi sia per gli operatori commerciali che per l'aviazione generale.
- **La possibilità offerta da PBN di sviluppare percorsi su misura** può consentire agli ANSP di migliorare i volumi dello spazio aereo al fine di unire meglio le esigenze del traffico commerciale e dell'aviazione generale.
- **Operazioni con elicotteri:** la flessibilità delle procedure PBN dovrebbe migliorare le operazioni con elicotteri, che sono quotidianamente limitate da diversi vincoli:
  - le attuali procedure di volo strumentale sono personalizzate per gli aeromobili, ma non si adattano alle operazioni di volo con elicotteri a

causa delle diverse prestazioni di volo;

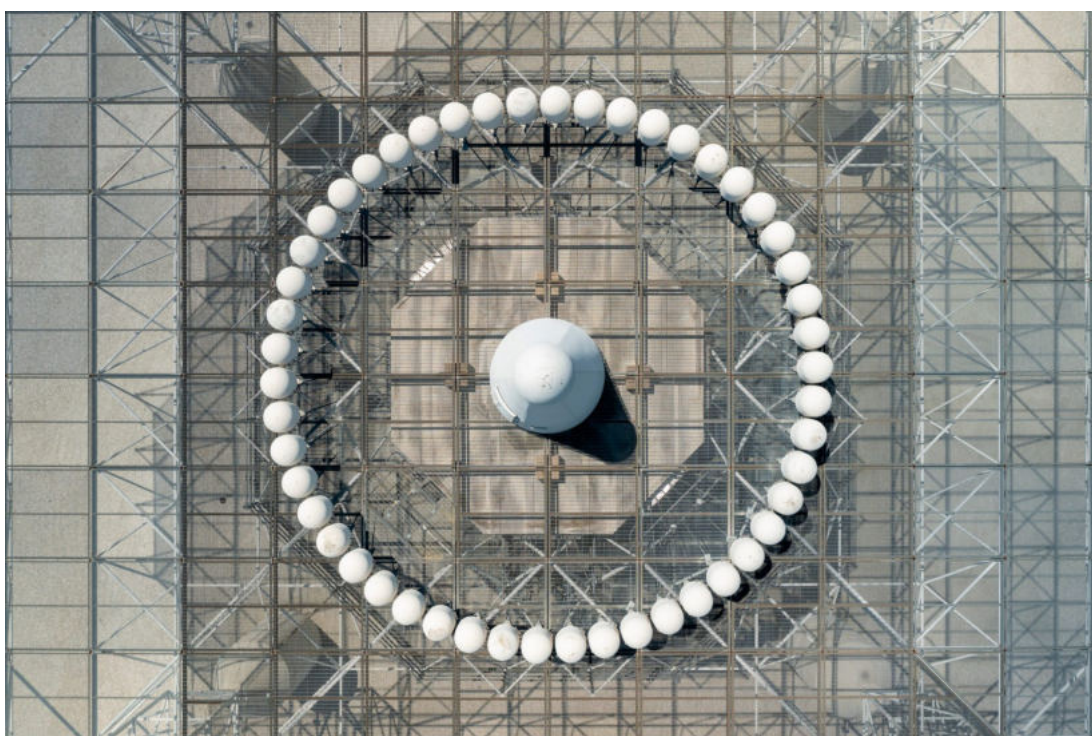
- difficoltà nel progettare procedure di volo strumentale convenzionali per le FATO, a causa della mancanza di disponibilità di aiuti alla navigazione locali;
- le operazioni con elicotteri si svolgono prevalentemente in VFR e nell'area del nord Italia, caratterizzata da bassa visibilità e giornate nebbiose durante l'inverno. Tali operazioni potrebbero influire negativamente sulla sicurezza. L'implementazione delle procedure di volo strumentale PBN dovrebbe migliorare le operazioni IFR degli elicotteri lungo rotte e procedure dedicate, tenendo conto delle loro prestazioni di volo.
- Razionalizzazione dei navaid: l'introduzione delle procedure di volo strumentale PBN porterà alla graduale eliminazione dei navaid convenzionali, a partire dagli NDB fuori campo.

## 2.2 PIANO DI RAZIONALIZZAZIONE NAVAIDS E DISMISSIONE VOR/NDB

In base alla crescente introduzione delle procedure di volo strumentale RNAV/RNP, si è provveduto ad una progressiva razionalizzazione degli aiuti alla navigazione esistenti.

ENAV ha già attuato negli anni, attraverso una task force interna, un piano di riduzione degli NDB, iniziando da quelli utilizzati per la navigazione, già sostituiti da sistemi VOR. Nel prossimo futuro gli NDB utilizzati per la navigazione verranno totalmente dismessi mentre i VOR continueranno ad essere impiegati principalmente come back-up di SID e STAR.

Per quanto riguarda gli NDB situati sugli aeroporti, dedicati a fornire una guida all'avvicinamento, il ritiro sarà valutato caso per caso, considerando la possibilità di implementare procedure basate su GNSS.



*Illustrazione 5: Vista dall'alto di un VOR*

Anche l'Aeronautica Militare, gestore di sistemi di navigazione, sta verificando la possibilità di dismetterne alcuni, tenuto conto della sempre più estesa capacità degli aeromobili militari di operare con sistemi satellitari. Di fatto, l'introduzione di EGNOS consentirà un ritiro progressivo di tutti gli NDB nello spazio aereo gestito dall'Italia, con un rilevante risparmio per i gestori e con una riduzione dei costi (meno manutenzione, minor consumo di energia per il funzionamento, aree che potranno essere dismesse e destinate ad altro uso).

### 2.3 PBN – PERFORMANCE BASED NAVIGATION

Le procedure strumentali di volo PBN, basate su GNSS/GPS, sono considerate strategiche per il miglioramento del trasporto aereo, in quanto permettono:

- un miglioramento della safety (mediante implementazione di procedure di atterraggio di precisione laddove non è possibile farlo con



radioassistenze tradizionali ed eliminazione di circling;

- la dismissione delle radioassistenze tradizionali (ILS, VOR, NDB) ottimizzando l'intero sistema di navigazione nazionale;
- la riduzione dell'impatto acustico delle procedure di volo;
- l'aumento della capacità di traffico aereo nello spazio nazionale;
- l'efficientamento delle rotte e procedure di avvicinamento con conseguente riduzione di CO2;

E' stato pertanto pubblicato il “Piano Nazionale PBN”, redatto congiuntamente da ENAC e ENAV secondo quanto richiesto agli Stati Membri dalla Risoluzione ICAO A37-11.

Il piano è stato realizzato nell'ambito di uno specifico gruppo di lavoro istituito da ENAC con il contributo dei maggiori stakeholders (ENAV, AM, Alitalia, Agusta, ecc).

A seguito del continuo progresso tecnologico sia degli apparati di bordo che della navigazione basata su segnali satellitari, è stato introdotto il concetto di PBN, in cui la navigazione basata sulle prestazioni dell'aeromobile piuttosto che sulla presenza a bordo di apparati specifici. I criteri di navigazione RNAV e RNP già utilizzati diventano applicazioni del concetto più generale di PBN:

Il nuovo approccio supera il principio dell'attuale navigazione convenzionale, in cui gli aeromobili sono guidati da segnali ricevuti da radioassistenze di terra (VOR, DME, ILS, ecc) e le procedure di volo strumentali sono soggette alla disponibilità dell'infrastruttura a terra di tali radioassistenze.

L'indipendenza dai radioaiuti di terra è la sfida del futuro a medio termine della navigazione aerea, permettendo altresì di sviluppare reti di trasporto aeroportuali anche in assenza di costose infrastrutture al suolo.

L'implementazione delle procedure PBN in Italia permetterà l'ottimizzazione della progettazione dello Spazio Aereo in termini di disegno di rotte più efficienti con conseguente riduzione dei tempi di volo, emissioni di CO2, consumo di carburante, incremento della capacità dello spazio aereo e ottimizzazione del costo dell'infrastruttura di terra.

La navigazione satellitare, basata sul GNSS/GPS, ha continuato a svilupparsi a ritmo sempre più elevato, per merito dei vantaggi apportati in termini di aumento della safety, della capacità di traffico, della diminuzione del consumo di carburante, di CO2, e del rumore.

Oggi, costituisce il mezzo di navigazione più utilizzato dall'aviazione civile.



*Illustrazione 6: Percorsi di volo*

<b>RISPARMIO CARBURANTE</b>	<b>AMBIENTE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Rotte di volo più brevi;</li> <li>■ Ottimizzazione dei profili di discesa, operazioni di salita continua e operazioni di discesa continua;</li> <li>■ Riduzione della variabilità dei piani di volo per operazioni più prevedibili;</li> <li>■ Minime condizioni meteo di atterraggio più basse che riducono le cancellazioni e i dirottamenti;</li> <li>■ Ridotta probabilità di mancati avvicinamenti o dirottamenti;</li> <li>■ Applicazione di standard di separazione tra più aeromobili operanti su traiettorie ottimizzate;</li> <li>■ Requisiti di carburante ridotti grazie all'affidabilità e alla prevedibilità del sistema;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Significative riduzioni delle emissioni di CO2 e del consumo di carburante;</li> <li>■ Significative riduzioni di altri inquinanti (ossidi di nitrogeno, monossidi di carbonio);</li> <li>■ Pubblicazioni di sentieri di volo più brevi e di profili verticali che consentono livelli di spinta più parsimoniosi e meno rumorosi;</li> <li>■ Incremento della possibilità di istituire sentieri di volo anche su aree sensibili al rumore;</li> <li>■ Riduzione della rumorosità aerodinamica grazie ai migliori profili di spinta;</li> </ul>

## 2.4 GLI AEROMOBILI DEL FUTURO

Il settore del trasporto aereo civile ha ricominciato a crescere: la **domanda annuale di viaggi è in crescita del 5% a livello planetario** e la gestione dell'impatto ambientale è sempre un problema. L'Organizzazione per l'aviazione civile internazionale (ICAO) nel 2019 ha indicato **gli obiettivi di riduzione delle emissioni**, comprese le emissioni di gas serra, di **almeno il 50% entro il 2050** rispetto ai livelli del 2005. Per far fronte a questo doppio problema la risposta è progettare aerei profondamente diversi da quelli attuali, con maggiore autonomia, maggiore capacità di carico (persone e merci) e minore impatto ambientale (inquinamento dell'aria, acustico). **Transonic Truss-Braced Wing e Flying V promettono miglioramenti significativi** dell'efficienza rispetto alle configurazioni convenzionali.



*Illustrazione 7: Aeromobile concept*

La propulsione elettrica, in varie architetture, sta diventando un'opzione fattibile per l'aviazione generale e nel nascente settore degli aerei per pendolari. Ma ci sono anche **soluzioni-tampone, come i carburanti a basso impatto**, che servono a ridurre le emissioni e rendere sostenibili i motori

ibridi. Infine, c'è spazio per creare dei voli a emissioni zero e altri progetti speciali, ma questo nel lungo e lunghissimo periodo.

Per arrivare ai traguardi di riduzione radicale delle emissioni i ricercatori di tutto il pianeta **stanno reinventando i modi con i quali si progettano gli aerei e i motori**. In maniera autonoma, i grandi gruppi industriali e i piccoli innovatori lavorano con approcci completamente diversi dal passato: termini come "**Ottimizzazione multidisciplinare della progettazione**" (Mdo), capace cioè di incorporare modelli e simulazioni integrati in un ambiente unico per arrivare a soluzioni bilanciate, e come "**Progettazione simultanea**", che colloca gli esperti di dominio in un unico sito per facilitare la collaborazione, l'interazione e il processo decisionale congiunto dando a tutte le discipline scientifiche lo stesso spazio, sono la base per arrivare ai risultati desiderati in tempi brevi. Sono approcci basati sulla "**Collaborative Design Facility**" (Cdf), cioè su strumenti hardware e software collegati tra loro per l'analisi e lo sviluppo dei progetti su una scala mai tentata prima.

Al fine di raggiungere l'efficientamento dei futuri aeromobili si sono messi in campo diversi approcci:

- La progettazione e la sperimentazione di motori a idrogeno;
- Design e progettazione degli aeromobili più efficiente e più performante;
- Uso di combustibili alternativi sostenibili e di motorizzazioni ibride;
- La presa in considerazione del ritorno all'uso di dirigibili ed ekranoplani elettrici;
- Sviluppo di motori Open Fan con elica parzialmente intubata e con forme dell'elica più spinte.

## 2.5 IL DUELLO TRA AIRBUS E BOEING

L'industria aeronautica globale si sta sempre più concentrando sulla questione delle emissioni di carbonio.

Le startup di aerotaxi come Vertical Aerospace e Wisk di proprietà di Boeing hanno lavorato duramente per lanciare i loro veicoli a batteria come parte della spinta verde. L'Airbus europeo ha annunciato un progetto per testare le emissioni generate dalla combustione dell'idrogeno. I produttori di motori hanno discusso su come aumentare la produzione di carburante per aviazione sostenibile.



*Illustrazione 8: Aeromobile concept Airbus*

Fondamentalmente, i miglioramenti nei velivoli alimentati a carburante per aerei giocheranno solo un piccolo ruolo: fino al 2035, è previsto solo un miglioramento annuo dell'1,1% dell'intensità energetica, quasi tutto proveniente da modelli già in servizio oggi.

L'obiettivo verde dell'Organizzazione per l'aviazione civile internazionale è del 2%. Tra il 1960 e il 2019, i jet nazionali e internazionali statunitensi hanno ridotto il loro consumo di energia per passeggero-miglio rispettivamente del 2,3% e dell'1,9% all'anno.

Il ritmo del miglioramento è rimasto costante fino al 2020, quando sono stati introdotti i leggeri Boeing 787 e Airbus A350 wide-body. A differenza delle automobili, l'economia dell'aviazione riguarda tutta l'efficienza energetica: le compagnie aeree non si preoccupano molto degli aerei più veloci, ma

acquisteranno sempre più modelli che riducono il consumo del carburante con evidenti riflessi sui costi e sull'inquinamento.

A dire il vero, le emissioni degli aeromobili possono essere ridotte anche migliorando l'efficienza operativa, piuttosto che tecnica, come il rullaggio su un singolo motore o l'utilizzo di tecnologie del traffico aereo più avanzate.

Nonostante tutti gli sforzi per avere aeromobili che consumano meno si potrebbe non ridurre gli attuali livelli di inquinamento, tenuto conto che il numero dei voli sta crescendo ad un ritmo vertiginoso con sempre più gente che utilizza l'aereo per spostamenti su lunghe distanze. Pertanto, la riduzione delle emissioni richiederà soprattutto carburante sostenibile o arrivare ad avere aerei a emissioni zero.

Airbus è impegnata a realizzare un aereo a idrogeno entro il 2035 che potrebbe sostituire in modo efficace l'A320 sui voli inferiori a 1.000 miglia. Al momento, però, ci sono ancora enormi incognite sulla capacità di produzione di aerei ad emissioni zero per le lunghe distanze limitando i benefici solo a rotte inferiori a 300 miglia, la stessa autonomia che al momento si ottiene per gli aerei elettrici.

Anche nello scenario ICCT più ottimistico, in cui la tecnologia dell'idrogeno diventa ampiamente disponibile, non sposta l'ago sulle emissioni del 2050. Nel frattempo, la campagna pubblicitaria sull'idrogeno rischia di distogliere l'attenzione dal potenziale di un sostituto convenzionale dell'A320. Piuttosto che costruire un jet completamente nuovo, Airbus potrebbe scegliere di costruire una terza generazione di questo progetto di 34 anni.

Oggi, i produttori vedono ancora meno un business case per i Jet puliti. La riduzione del 20% del consumo di carburante che i nuovi aerei hanno ottenuto in passato potrebbe essere difficile da ripetere.

La maggior parte del miglioramento storicamente proveniva dai motori,

motivo per cui CFM, una joint venture tra General Electric e Safran, sta studiando se le architetture "open fan" possano offrire un altro cambiamento radicale in termini di efficienza. Ma questo potrebbe richiedere decenni.

Tuttavia, con qualche compromesso finanziario a breve termine, la stagnazione tecnologica non è inevitabile. I motori più recenti costruiti da CFM e dal suo concorrente Pratt & Whitney dispongono ciascuno di una tecnologia che manca all'altro: incrociarli potrebbe potenziare i risultati.

Da sole, ciascuna azienda potrebbe impiegare 15 anni per acquisire le capacità necessarie e superare i problemi di proprietà intellettuale, ma la giusta combinazione di ambizione, incentivi governativi e collaborazione potrebbe portarla avanti.

Allo stesso modo, gli scenari ottimistici post-2035 dell'ICCT includono progressi come la costruzione di aeromobili con compositi e ali futuristiche come quelle esplorate dal precursore "X-Wing" di Airbus. Prendere sul serio la sostenibilità significherebbe dare la priorità a progetti puliti con tali caratteristiche.

Procedere a migliorare la tecnologia già conosciuta risulta più semplice e fattibile piuttosto che procedere con nuove idee per lo sviluppo di nuove tecnologie. E' anche vero però che i produttori di aeroplani potrebbero oggi dover accettare rendimenti inferiori a fronte di importanti investimenti per avere poi, in futuro, una linea di aeromobili più "verde" con conseguenti migliori risultati.



### **3. I BENEFICI NELL'IMMEDIATO E NEL FUTURO**

#### **3.1. LA DECARBONIZZAZIONE DEL TRASPORTO AEREO**

Sebbene il settore del trasporto aereo incida circa per il 2.5% delle emissioni a livello globale, la decarbonizzazione è uno degli obiettivi principali per il futuro dell'intero comparto, soprattutto in accordo ai target normativi europei. Tuttavia, la regolamentazione emanata dall'Unione Europea appare ancora troppo generica e le attuali normative in tema di decarbonizzazione non sono di immediata e semplice implementazione.



Le emissioni derivanti dall'industria del trasporto aereo sono infatti classificate come “*hard to abate*” in quanto ci sono delle evidenti limitazioni di tipo tecnico che rendono difficile la trasformazione del settore stesso, tra le quali:

- continua crescita della domanda di trasporto aereo;
- opzioni di decarbonizzazione ridotte e non “mature”;
- costi elevati;

Il processo di decarbonizzazione infrastrutturale non sarà quindi di immediata e completa implementazione e prevederà sicuramente uno sviluppo per gradi. E' importante quindi focalizzarsi inizialmente su poche attività strategiche tra le quali:

- decarbonizzare l'approvvigionamento energetico;
- incrementare l'indipendenza energetica;
- introdurre soluzioni di trasporto che sfruttino carburanti e sistemi propulsivi alternativi;
- efficientare le infrastrutture aeroportuali;
- continuare a ricorrere a misure di compensazione della CO<sub>2</sub> quando necessario;

### **3.2. GLI AEROPORTI E L'ACA – AIRPORT CARBON ACCREDITATION**

Airports Council International (ACI) rappresenta gli interessi collettivi degli aeroporti di tutto il mondo per promuovere l'eccellenza nel settore dell'aviazione. Dall'attività svolta con i governi, i membri ACI regionali, gli esperti e le organizzazioni internazionali come l'ICAO derivano collaborazioni per sviluppare politiche, definire programmi e best practices al fine di promuovere gli standard aeroportuali a livello globale.

Nel giugno 2008, l'Assemblea annuale di ACI EUROPE ha adottato una storica risoluzione sul cambiamento climatico in cui i suoi aeroporti membri si sono impegnati a ridurre le emissioni di carbonio derivanti dalle loro operazioni, con l'obiettivo finale di giungere ad un livello carbon neutral.

Un anno dopo, all'Assemblea annuale del 2009, ACI EUROPE ha lanciato l'Airport Carbon Accreditation, che consente la valutazione e il riconoscimento degli sforzi degli aeroporti partecipanti per gestire e ridurre le proprie emissioni di CO<sub>2</sub>. Nel primo anno di mandato hanno aderito

all'iniziativa 17 aeroporti tra i più avanzati in termini di gestione ambientale. Negli anni successivi, il programma è cresciuto a dismisura e si è diffuso in altre regioni del mondo, evidenziando la disponibilità dell'industria aeroportuale globale a partecipare all'azione per il clima.

La prima regione ad aderire all'iniziativa di ACI EUROPE è stata l'Asia-Pacifico nel novembre 2011. L'Airport Carbon Accreditation è stato ulteriormente esteso agli aeroporti della regione africana nel giugno 2013. Nel settembre 2014, Airport Carbon Accreditation è decollato in Nord America. Il programma ha raggiunto la sua attuale portata globale nel novembre 2014 con la sua estensione agli aeroporti dell'America Latina e dei Caraibi.

*Airport Carbon Accreditation (ACA)* è l'unico programma di certificazione per la gestione del carbonio globale approvato dalle istituzioni per gli aeroporti. Esso valuta e riconosce in modo indipendente gli sforzi degli aeroporti per gestire e ridurre le proprie emissioni di carbonio attraverso 6 livelli di certificazione:

- Mappatura
- Riduzione
- Ottimizzazione
- Neutralità
- Trasformazione
- Transizione

Attraverso i suoi 6 livelli di certificazione, Airport Carbon Accreditation riconosce che gli aeroporti si trovano in fasi diverse del loro percorso verso una gestione completa del carbonio. Si tratta di un programma per aeroporti di tutte le dimensioni, che va oltre gli hub e gli aeroporti regionali con traffico

passaggeri di linea, per includere l'aviazione generale e gli aeroporti dedicati al trasporto merci.

Airport Carbon Accreditation si impegna a consentire al settore aeroportuale di ridurre efficacemente la propria impronta di carbonio, di beneficiare di una maggiore efficienza attraverso un consumo energetico ridotto, competenze condivise e scambio di conoscenze, nonché una migliore comunicazione dei risultati.

### **3.3. LA SOSTENIBILITA' DELL'AEROPORTO DI NAPOLI E LE NUOVE TRAIETTORIE**

A livello internazionale l'aeroporto di Napoli, attraverso la sua società di gestione GESAC è in prima linea per il processo di decarbonizzazione, e, avvalendosi negli anni di implementazioni sempre più efficaci, ha potuto così conseguire il livello ACA 4+ transition.

Tale livello si è raggiunto con un approccio olistico e globale di tutto quanto poteva essere fatto per abbattere le varie forme di inquinamento che un aeroporto produce e di contenimento dei consumi e dell'impatto ambientale.



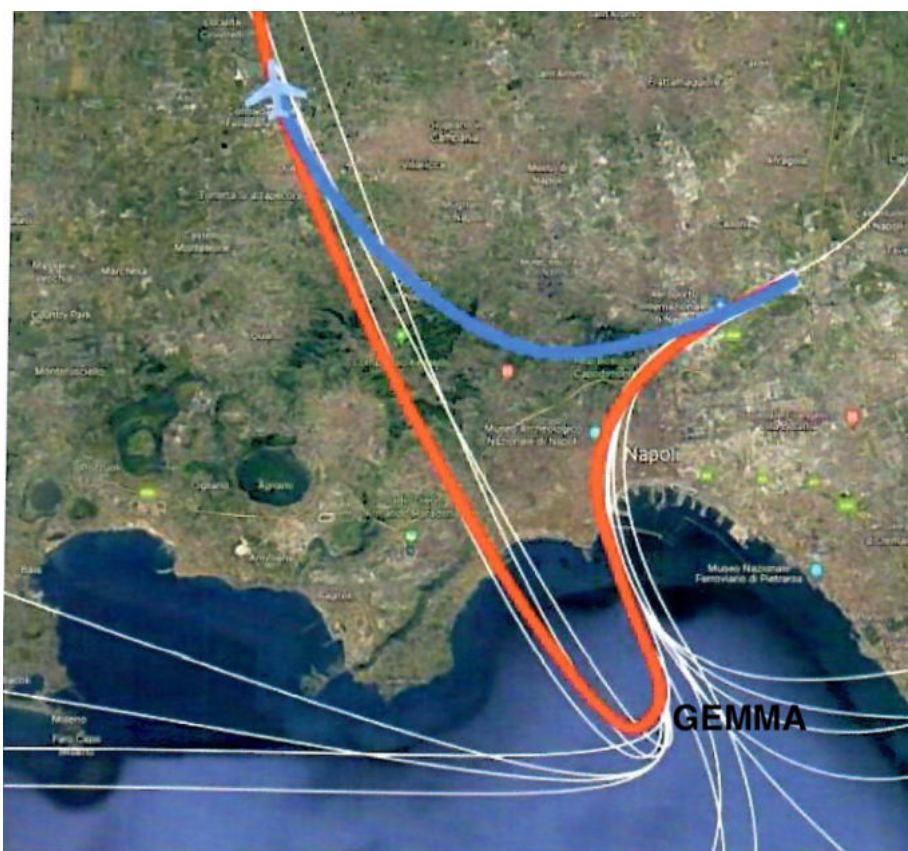
*Illustrazione 9: Terminal dell'aeroporto di Napoli - Capodichino*

Le azioni di contenimento dell'impatto acustico messe in campo hanno previsto diversi ambiti di azione:

- Marketing sostenibile per le compagnie aeree: proposta di nuove policy di sviluppo del network avente come obiettivo quello di incentivare le compagnie aeree all'utilizzo di aeromobili di ultima generazione più efficienti e meno impattanti;
- Disincentivazione dei voli notturni: Riprogrammazione e continua ottimizzazione degli orari di decollo e atterraggio, con la riduzione del numero di movimenti in orario di tarda serata e notturno;
- Uso bilanciato della pista di volo: Revisione delle modalità di decollo e atterraggio e bilanciamento delle durate di utilizzo della pista in uso, assicurando una minimizzazione dell'impatto acustico sulla base dei dati della rete di monitoraggio del rumore;
- Monitoraggio della pressione acustica ambientale nell'intorno aeroportuale: Monitoraggio costante nel rispetto della procedura "antirumore", che consente di minimizzare l'impatto acustico sulla città di Napoli, imponendo traiettorie che non sorvolano la città durante le fasi di decollo;
- Progettazione di procedure di volo strumentali GNSS: Implementazione di nuove procedure di salita iniziale "antirumore" in modo da ridurre l'impatto acustico sulla città di Napoli ed in generale sulle zone più densamente popolate;
- Mappatura acustica strategica: Per verificare l'impatto sulle nuove aree e per validare le nuove procedure, in accordo con ARPAC Campania, verranno effettuati monitoraggi acustici per confermare l'efficacia delle scelte fatte e per redigere futuri piani di azione;

### **3.4. 1 DIVERSI MODI DI ESSERE “ANTIRUMORE”**

Era il 2005 quando la prima procedura “antirumore” per pista 24 di salita iniziale verso la città di Napoli ebbe il suo debutto. La procedura prevede una virata a sud verso il mare ed il sanzionamento dei voli non rispettosi di tale procedura.



*Illustrazione 10: Rappresentazione delle due procedure di partenza antirumore di Napoli Capodichino per pista 24*

Nonostante tale procedura è stabilmente oltre il 98% annuo, la società di gestione, al fine di continuare il suo percorso di decarbonizzazione, nel 2019 ha commissionato ad ENAV lo studio di una nuova procedura di salita iniziale ancora meno impattante che sfrutti la nuova tecnologia satellitare disponibile. La nuova procedura è stata implementata nel 2023. Essa prevede una nuova

*initial climb procedure* unita a nuove SID. E' stata realizzata utilizzando i protocolli di navigazione RNAV con navigazione per Waypoint. Essa prevede una virata verso Nord ed evita di raggiungere il punto GEMMA al centro Golfo previsto nella procedura “antirumore” precedente.

La riduzione del tempo di volo è di circa 3 minuti con un risparmio di gas climalteranti pari a 11mila tonnellate per anno. Gli aeromobili percorrendo tale procedura effettueranno una virata a Nord subito dopo il decollo, evitando così il sorvolo del centro città densamente popolato

## **CONCLUSIONE**

L'elaborato proposto, partendo dalla problematica ambientale e dello sviluppo sostenibile, ha tracciato un percorso su quelle che sono state le soluzioni messe in campo a svariati livelli nel settore dell'aviazione scendendo poi nello specifico con l'esempio costituito dall'aeroporto di Napoli. Nello stesso tempo è possibile intercettare anche quelli che saranno i possibili scenari futuri e la via che si sta tracciando per un trasporto aereo sostenibile.

L'approccio olistico e l'affidarsi a soluzioni brillanti ed avveniristiche trasmettono comunque sensazioni positive sulla sostenibilità di un trasporto aereo nel futuro.

Ad oggi la ripresa del trasporto aereo ha presentato segnali molto positivi con numeri importanti. L'implementazione di sistemi di automazione di processi, di dispositivi di supporto basati su rete neurali ed intelligenza artificiale, in poco tempo sta portando molti settori compreso il trasporto aereo in una nuova era.

C'è ancora molta strada da fare e forse nel ciclo di sviluppo del cambiamento siamo ancora in una fase molto iniziale e prematura.

Il processo di cambiamento è importante a tal punto che ha bisogno di acquisire la solidità e la credibilità necessaria affinché la gran parte delle persone possano avere abbastanza fiducia da avvicinarsi con serenità e leggerezza a quelle che saranno le nuove possibilità del trasporto aereo.



## **RIFERIMENTI**

- L'approccio olistico dell'UE allo sviluppo sostenibile – [commission.europa.eu](https://commission.europa.eu);
- [www.treccani.it](https://www.treccani.it) – concetto di sostenibilità;
- Nascita dell'EEA – [eea.europa.eu](https://eea.europa.eu);
- Gli impatti ambientali nel settore dell'aviazione. Casistica giurisprudenziale nazionale ed europea – [rivista.camminodiritto.it](https://rivista.camminodiritto.it);
- Altri fattori inquinanti – [enac.gov.it](https://enac.gov.it);
- UE: “l'impatto ambientale e climatico dell'aviazione continua a crescere” - [www.greenreport.it](https://www.greenreport.it) – 25 gennaio 2019;
- AFUA – advanced flexible use of airspace – [eurocontrol.int](https://eurocontrol.int);
- Airbus svela il motore a idrogeno a zero emissioni di carbonio – [aeroflap.com.br](https://aeroflap.com.br) – 5 dicembre 2022;
- Come saranno gli aeromobili del futuro – Antonio Dini 06-08-2022 – [Wired.it](https://Wired.it);
- ENAV: Programma di dismissione NDB/L 2022 – [aopa.it](https://aopa.it) – 05 Marzo 2022 [Airnews](https://Airnews.com);
- Non è un paese per vecchi apparati – Cleared – Paolo Mezzacapo – Marzo 2022;
- Airbus boss warns of delay in decarbonising airline industry – [theguardian.com](https://theguardian.com) – 30 Novembre 2022;
- Boeing and Airbus Want to Get Greener. Why Aren't They Building New Planes? - [The Wall street Journal](https://TheWallStreetJournal.com);
- Piano ESG 2023 – 2025 Programma di Sostenibilità Aeroporto Internazionale di Napoli – 31 Dicembre 2022

## **INDICE**

“Less is more”

SIGLE E ABBREVIAZIONI

INTRODUZIONE

### 1. LA SFIDA AMBIENTALE PER IL TRASPORTO AEREO

- 1.1. LA SFIDA AMBIENTALE PER L'AVIAZIONE;
- 1.2. LE EMISSIONI ACUSTICHE;
- 1.3. LE EMISSIONI GASSOSE;
- 1.4. ALTRI FATTORI INQUINANTI;

### 2. LE TECNOLOGIE E L'EVOLUZIONE DELLA TECNICA PROCEDURALE

- 2.1. PIANO DI IMPLEMENTAZIONE PBN;
- 2.2. PIANO DI RAZIONALIZZAZIONE NAVAIDS E DISMISSIONE VOR/NDB;
- 2.3. PBN – PERFORMANCE BASED NAVIGATION;
- 2.4. GLI AEROMOBILI DEL FUTURO;
- 2.5. IL DUELLO TRA AIRBUS E BOEING;

### 3. I BENEFICI NELL'IMMEDIATO E NEL FUTURO

- 3.1. LA DECARBONIZZAZIONE DEL TRASPORTO AEREO;
- 3.2. GLI AEROPORTI E L'ACA – AIRPORT CARBON ACCREDITATION;
- 3.3. LA SOSTENIBILITA' DELL'AEROPORTO DI NAPOLI E LE NUOVE TRAIETTORIE;
- 3.4. I DIVERSI MODI DI ESSERE “ANTIRUMORE”;

CONCLUSIONI

RIFERIMENTI