



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 AEROPORTI E OPERAZIONI DI VOLO

**LA RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO DI
ORIGINE AERONAUTICA CON L'ADOZIONE DELLE
PERFORMANCE BASED NAVIGATION**

Relatore: Prof. Luca Vinelli

Candidata: Roberta Tudisco, matr. n. 05/00307

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	5
2. CENNI STORICI	7
3. QUADRO NORMATIVO.....	9
4. BALANCED APPROACH	11
4.1 RIDUZIONE DEL RUMORE ALLA SORGENTE	12
4.1.1 SISTEMA PROPULSIVO	13
4.1.2 RUMORE AERODINAMICO	18
4.1.3 CERTIFICATO ACUSTICO.....	20
4.2 PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELL'UTILIZZO DEL TERRITORIO	23
4.2.1 ZONIZZAZIONE ACUSTICA.....	24
4.2.2 CALCOLO DELLE CURVE DI ISOLIVELLO.....	27
4.3 PROCEDURE DI ABBATTIMENTO DEL RUMORE.....	31
4.3.1 GROUND MANAGEMENT.....	33
4.3.2 SPATIAL MANAGEMENT	34
4.3.3 NOISE ABATEMENT FLIGHT PROCEDURE	37
4.4 RESTRIZIONI OPERATIVE	49
5. PERFORMANCE BASED NAVIGATION	51
5.1 DALLA GROUND-BASED ALLA PERFORMANCE BASED NAVIGATION.....	51
5.2 RNAV	54

5.3 RNP.....	58
5.3.1 OBPMA – On Board Performance Monitoring and Alerting.....	59
5.4 PBN.....	61
5.4.1 NAVIGATION SPECIFICATION	64
5.4.2 NAVAID INFRASTRUCTURE.....	64
5.4.3 NAVIGATION APPLICATION	67
5.4.4 TOTAL SYSTEM ERROR.....	68
5.4.5 ANALISI DELLE NAVIGATION SPECIFICATION.....	71
5.4.6 VANTAGGI DELLE PBN	75
5.4.7 PBN E NOISE MITIGATION.....	76
6. CONCLUSIONI.....	83
7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	85

ACRONIMI

ACDM – Airport Collaborative Decision Making

AGL – About Ground Level

APU – Auxiliary Power Unit

ARPA – Agenzia Regionale Protezione Ambientale

ATM – Air Traffic Management

CDO – Continuous Descent Operation

DME – Distance Measuring Equipment

EASA – European Aviation Safety Agency

ENAC – Ente Nazionale Aviazione Civile

ENAV – Ente Nazionale Assistenza al Volo

EPNL – Equivalent Perceived Noise Level

FAF – Final Approach Fix

FMS – Flight Management System

GNSS – Global Navigation Satellite System

ICAO – International Civil Aviation Organization

ILS – Instrument Landing System

IRS – Inertial Reference System

IRU – Inertial Reference Unit

LD – Low Drag

LP – Low Power

LVA – Livello Valutazione rumore Aeroportuale

LVAd – LVA diurno

LVAj – Livello Valutazione rumore Aeroportuale giornaliero

LVAn – LVA notturno

NADP – Noise Abatement Departure Procedure

NAP – Noise Abatement Procedure

NAVAID – NAVigational AID

NOTAM – NOtice To AirMen

OBPMA – On Board Performance Monitoring and Alerting

PBN – Performance Based Navigation

PBN- Performance Based Navigation

RNAV – aRea NAVigation

RNP – Required Navigation Performance

RPK – Revenue Passengers for Kilometer

SAL – Steep Approach and Landing

SID – Standard Instrument Departure

STC – Supplementary Type Certification

TCDSN – Type Certification Data Sheets

TOD – Top Of Descent

VOR – VHF Omnidirectional Range

1. INTRODUZIONE

Una delle fonti principali di inquinamento causato dagli aeromobili è il rumore che essi stessi producono durante le normali operazioni di volo. Gli eventi più rumorosi sono quelli legati alle fasi di decollo e atterraggio, il che fa sì che l'inquinamento acustico di tipo aeronautico abbia una forte ricaduta sulle comunità che vivono negli intorni aeroportuali.

Con la continua crescita del traffico aereo, il rumore aeronautico e le emissioni inquinanti hanno avuto un grande impatto sulla qualità della vita delle popolazioni limitrofe. Inoltre, tale gravoso fenomeno si è presentato contemporaneamente alla crescente urbanizzazione delle aree limitrofe agli aeroporti. Evidentemente un difficile problema da affrontare.

Nonostante la sostanziale riduzione del rumore emesso dagli aeromobili negli ultimi decenni, il loro impatto sull'inquinamento, è rimasta una questione in cima all'agenda delle tematiche invocate dall'opinione pubblica.

Intorno agli anni 2000, il traffico aereo ha subito un forte incremento in termini di RPKs (*Revenue Passengers Kilometers*, chilometri percorsi da passeggeri paganti) grazie anche all'avvento delle compagnie aeree low-cost, per mezzo delle quali il modo di viaggiare è cambiato, consentendo l'uso del mezzo aereo, fino ad allora considerato un lusso, in modo trasversale per tutte le fasce sociali.

Un vantaggio che ha portato, di contro, una conseguenza immediata: un aumento del rumore percepito.

Inoltre, la maggiore sensibilità alle tematiche ambientali ha dato enfasi alla necessità di impiegare misure efficaci per ridurre al minimo l'impatto del trasporto aereo.

Contenere il rumore generato dalle operazioni aeronautiche, rispettando allo stesso tempo il bisogno di mobilità, è una delle maggiori sfide che devono affrontare le autorità aeroportuali, gli enti pubblici e gli stakeholders.

È necessario quindi attuare efficienti politiche di riduzione dell'impatto acustico derivante dalle attività dei grandi aeroporti, per garantire alla popolazione esposta il giusto diritto ad un adeguato livello di qualità della vita, senza per questo limitare o compromettere lo sviluppo economico dell'infrastruttura aeroportuale.

Alla luce di queste considerazioni, questo elaborato si pone l'obiettivo di approfondire la tematica in oggetto, analizzando le misure di mitigazione attuate con particolare attenzione all'utilizzo delle *Performance based navigation procedures* - PBN.

2. CENNI STORICI

L'approccio al *Noise Abatement* affonda le sue radici negli anni '60, quando l'avvento del trasporto aereo passeggeri e la sua rapida diffusione misero le autorità di fronte alla necessità di pensare a delle misure di contenimento, visto che 'la reazione dell'opinione pubblica stava aumentando in misura tale da destare grande preoccupazione.' Annex 16 ICAO, *Historical background*.

La pietra miliare è rappresentata dalla *London International conference on the reduction of noise and disturbance caused by aircraft*, del 1966, durante la quale, già allora si convenne che le strade da percorrere per giungere alla mitigazione del rumore erano il rilascio di una certificazione acustica da allegare al certificato di aeronavigabilità e, in secondo luogo, la progettazione di traiettorie di avvicinamento più ripide.

In realtà la questione fu sollevata per la prima volta negli Stati Uniti nel 1946, a seguito di un esposto presentato da un allevatore di polli della Carolina del Nord, secondo il quale gli aerei che insistevano sul vicino aeroporto lo costrinsero a chiudere l'attività. La Corte Suprema condannò il Governo degli Stati Uniti a risarcire il proprietario, dichiarando che voli frequenti a bassa quota su una proprietà privata costituiscono una diretta e immediata lesione del diritto di proprietà.

Per far fronte al problema del rumore l'ICAO, intuendo l'importanza di un approccio integrato che coniugasse la necessità di soddisfare la crescente

domanda di mobilità e la salvaguardia dell'ambiente, costituì nel 1968 il Comitato sulle Emissioni Sonore degli Aeromobili, che si occupò di elaborare un elenco di misure preventive e di mitigazione che ancora oggi sono la base di qualsiasi politica di abbattimento del rumore. Gli strumenti individuati e integralmente applicati per l'ottimizzazione del clima acustico aeroportuale sono:

- minore rumorosità degli aerei,
- limitazione dei voli notturni,
- monitoraggio del rumore,
- pianificazione territoriale,
- programmi di insonorizzazione,
- tassa sul rumore,
- procedure antirumore,
- ottimizzazione dello slot-allocation.

Analizzando gli otto punti, si individuano tre campi di intervento distinti:

- Normativo
- Tecnico
- Operativo

Da allora i progressi tecnologici e il quadro normativo in continuo aggiornamento, hanno consentito di fare molti passi avanti nella mitigazione

del rumore, senza però mai risolvere l'annosa questione che continua a suscitare malcontento.

3. QUADRO NORMATIVO

Il quadro normativo che disciplina il contenimento del rumore prodotto dagli aerei è ampio.

Volendo illustrare gerarchicamente i principali riferimenti normativi, è necessario partire dall' ICAO Annex 16, Vol. I che contiene le definizioni, le norme, le pratiche raccomandate e le linee guida per la certificazione acustica degli aeromobili. Proprio in questo caposaldo, alla part V per la prima volta compare il concetto di Balanced Approach, a tutt'oggi applicato.

Sempre ICAO, nel suo Doc. 9510 Vol. I, Environmental Technical Manual, descrive le procedure per la misurazione del rumore prodotto dagli aeromobili al fine del rilascio della loro certificazione acustica.

Come sempre avviene, le norme internazionali vengono declinate a livello europeo da EASA European Aviation Safety Agency che tra i suoi obiettivi ha quello di armonizzare regolamentazioni e certificazioni.

Queste a loro volta, sono adottate dai singoli paesi membri in modo diretto. Per la loro attuazione provvedono gli enti regolatori competenti. Per l'Italia è l'ENAC - Ente Nazionale Aviazione Civile.

Di seguito un elenco delle principali normative di riferimento per il rumore aeroportuale e il loro relativo monitoraggio:

NORMATIVA INTERNAZIONALE	
<i>TIPO</i>	<i>NOME</i>
Annesso 16 ICAO	Environmental Protection
ICAO DOC - 9510	Environmental Technical Manual
ICAO DOC - 9829	Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management
EASA CS - 36	Aircraft noise
Direttiva UE 2002/30 CE	Norme e procedure per l'introduzione di restrizioni operative al fine del contenimento del rumore negli aeroporti della comunità
Direttiva UE 2002/49 CE	Determinazione gestione del rumore ambientale
Racc. Comm. Europea 2003/613 CE	Linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità
NORMATIVA NAZIONALE	
<i>TIPO</i>	<i>NOME</i>
Legge Quadro 447/95	Legge Quadro sull'inquinamento acustico
DM 31-10-1997	Metodologia di misura del rumore aeroportuale
DPR 496	Regolamento recante norme per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dagli aeromobili civili
DM 20-05-1999	Criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti
DM 03-12-1999	Procedure antirumore e zone di rispetto negli aeroporti

Tabella 1 - Norme

4. BALANCED APPROACH

Nel 2001 l'ICAO decise di abbracciare il concetto di Balanced Approach. È un metodo che consente di individuare le misure più appropriate per affrontare il problema dell'inquinamento acustico ottenendo il massimo beneficio ambientale al minor costo possibile, affrontando la tematica sotto diversi aspetti ma utilizzando criteri oggettivi e misurabili.

Il DOC 9829¹ – Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management, è il documento ICAO che approfondisce e scandaglia sotto ogni aspetto il metodo, partendo dal noise assessment sul singolo aeroporto, approfondendo i quattro campi di intervento previsti, giungendo a criteri per la misurazione dei benefici e concludendo con una serie di case studies (Amsterdam, Seattle, Narita, Sydney, etc).

Tramite l'approccio bilanciato sono molti gli interventi che vengono messi in atto per cercare di ridurre l'impatto ambientale degli aeromobili in termini di rumore prodotto.

¹ The Balanced Approach provides ICAO Contracting States with an internationally agreed approach to address aircraft noise problems where they occur – at individual airports- in an environmentally responsibly way. The Balanced Approach gives Contracting States a flexible way to identify a specific noise problem and remedies that are targeted at a tailored to the individual airport situation in a transparent process.

I campi di intervento sono quattro:

- riduzione del rumore alla sorgente
- Pianificazione e utilizzo del territorio
- Procedure operative di abbattimento del rumore
- Restrizioni operative

4.1 RIDUZIONE DEL RUMORE ALLA SORGENTE

Le sorgenti principali di rumore di un velivolo sono il suo sistema propulsivo e la sua aerodinamica (discontinuità superficiali).

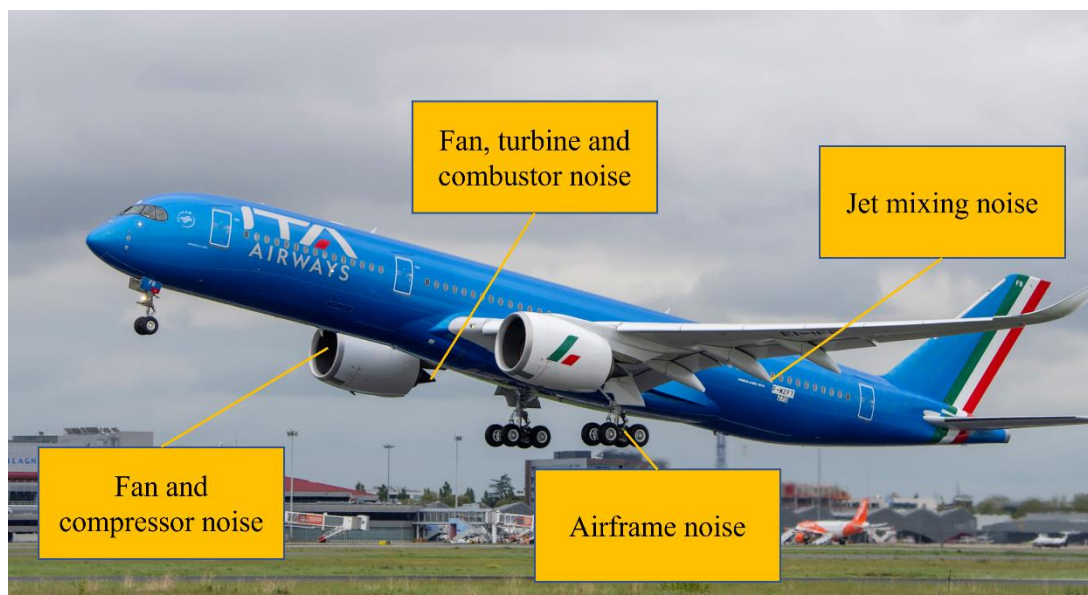


Figura 1 - Rumore aerodinamico e del sistema propulsivo

4.1.1 SISTEMA PROPULSIVO

Una percentuale consistente del rumore è prodotta dal sistema propulsivo. Di seguito esamineremo i principali sistemi propulsivi e le differenze in termini di rumore prodotto.

4.1.1.1 Turbogetto

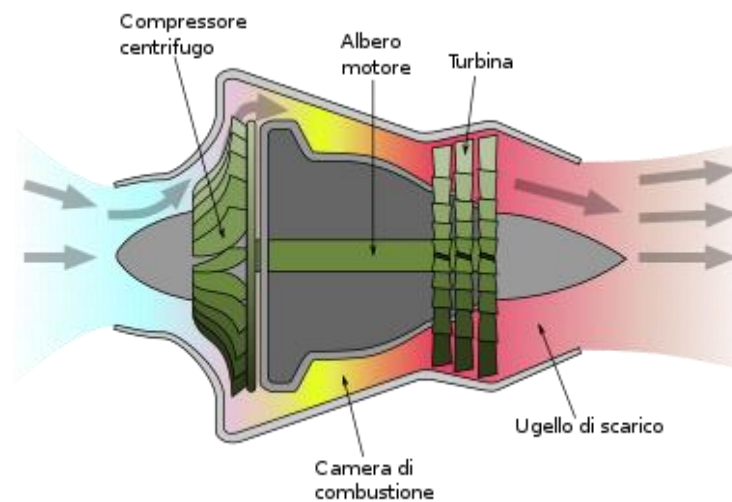


Figura 2 - Schema turbogetto

La generazione della spinta da parte di un turbogetto si basa sulla notevole accelerazione di una portata d'aria relativamente modesta.

Semplificando, il principio di funzionamento è: la massa d'aria aspirata attraverso la presa d'aria con un minimo effetto di compressione, entra nel compressore assiale o centrifugo; la massa d'aria così compressa viene scaldata, con minime perdite di pressione, nelle camere di combustione. A questo punto il gas ad alta pressione e temperatura (elevata energia), viene in

parte utilizzato per il funzionamento dei vari stadi del compressore, e per la restante parte viene fatto espandere attraverso l'ugello di scarico per produrre la spinta.

Questo processo di produzione della spinta genera tre sorgenti di rumore: la presa d'aria (rumore aerodinamico), la cappottatura del motore (attraverso le vibrazioni) e l'ugello di scarico (mescolamento del getto d'uscita con l'aria calma circostante, rumore aerodinamico del getto).

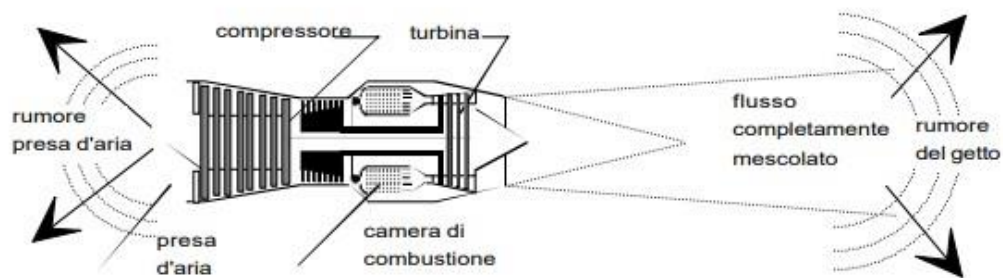


Figura 3 - Schema turbogetto esteso

4.1.1.2 Turbofan

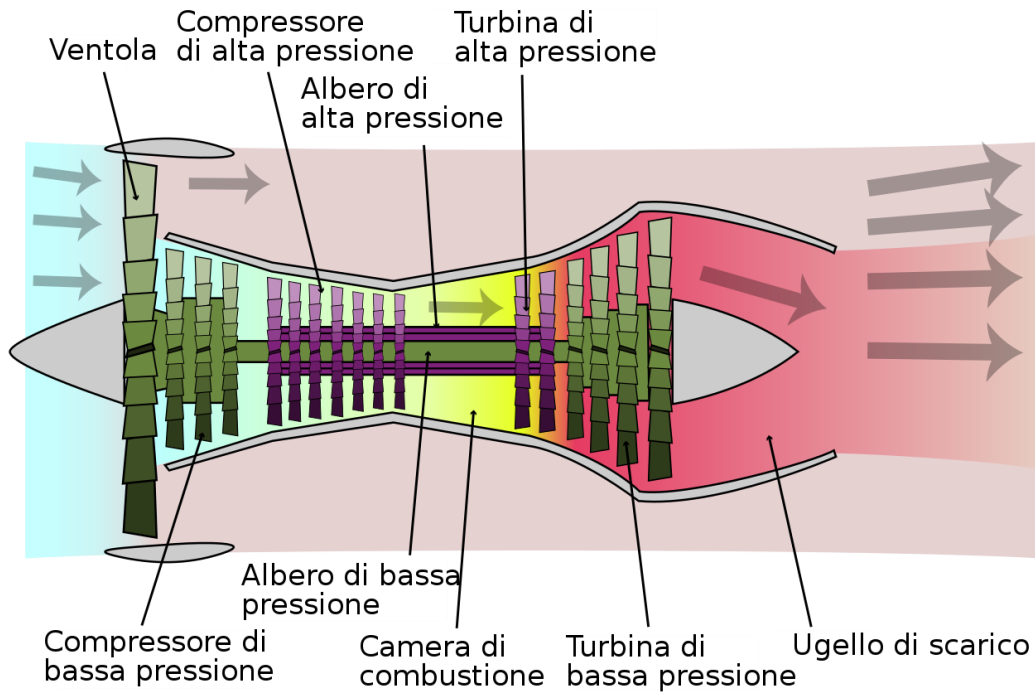


Figura 4 - Schema turbofan

Il turbofan nasce con l'intenzione di risolvere alcuni problemi del turbogetto, tra i quali l'elevata rumorosità aerodinamica del getto.

Il fan realizza una modesta accelerazione di un'elevata massa d'aria la quale non prende parte al ciclo termodinamico del motore (flusso secondario), e realizza il confinamento del gas espulso dall'ugello (flusso primario) che a questo punto rappresenta una minima frazione dell'intera portata d'aria del motore (a tal scopo si definisce il rapporto di diluizione il rapporto: massa d'aria secondaria / massa d'aria primaria, che attualmente è anche > 10).

Questo processo oltre a consentire di avere un'elevata spinta al decollo e la riduzione del consumo di carburante, consente il confinamento del flusso

primario entro il secondario; ciò crea di fatto uno schermo al forte rumore provocato dal getto primario.

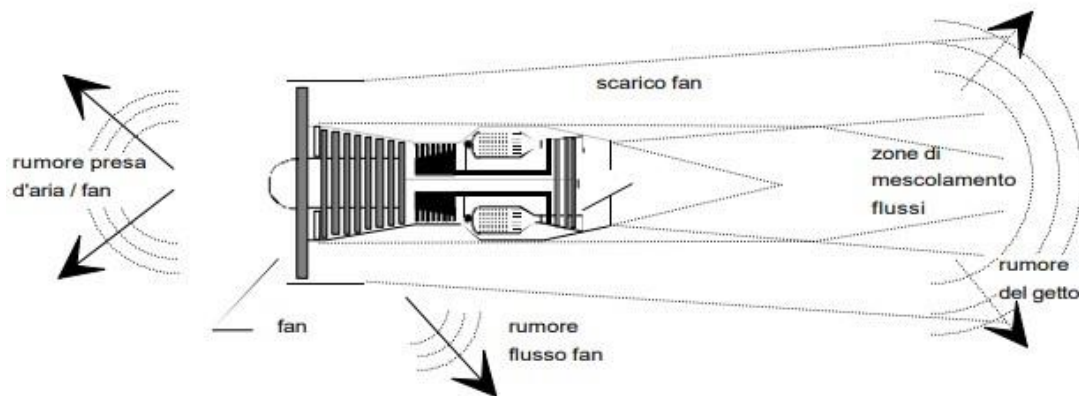


Figura 5 - Schema turbofan esteso

4.1.1.3 Turboelica

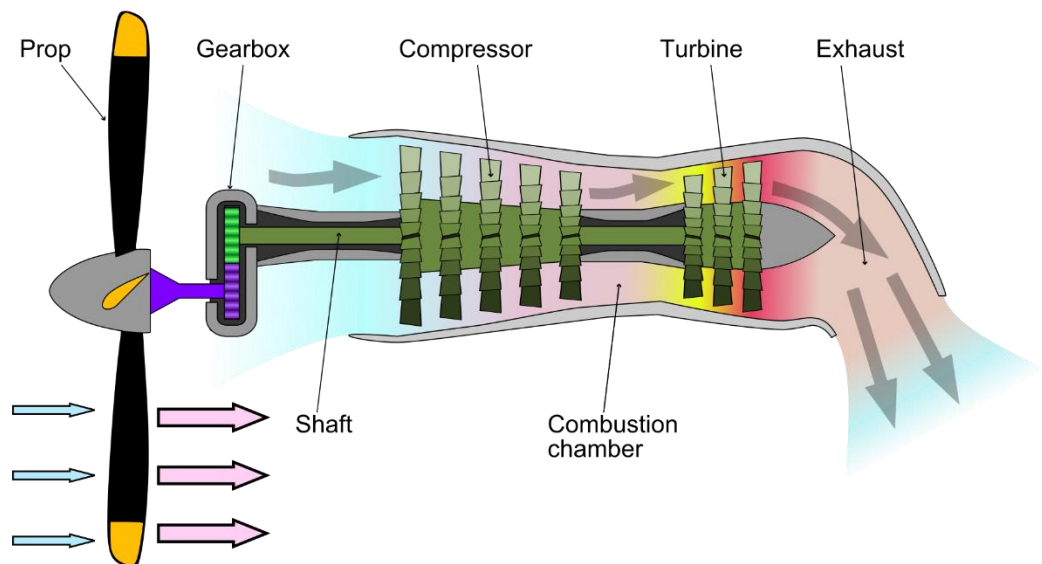


Figura 6 - Schema turboelica

È un motore costituito da un'elica aeronautica propulsiva azionata da una turbina. Differisce dal turbogetto, in quanto nei motori turboelica la propulsione avviene principalmente per mezzo dell'aria messa in movimento dalla rotazione di un'elica ed in misura molto minore, mediante la spinta dei gas di scarico. Il flusso d'aria generato dall'elica è di notevole portata e quindi in grado di sviluppare, a basse velocità di avanzamento, un'elevata spinta con un ridotto consumo di carburante.

Lo spettro di frequenza del rumore dell'elica presenta dei picchi che sono determinabili moltiplicando la velocità di rotazione dell'elica per multipli interi del numero di pale.

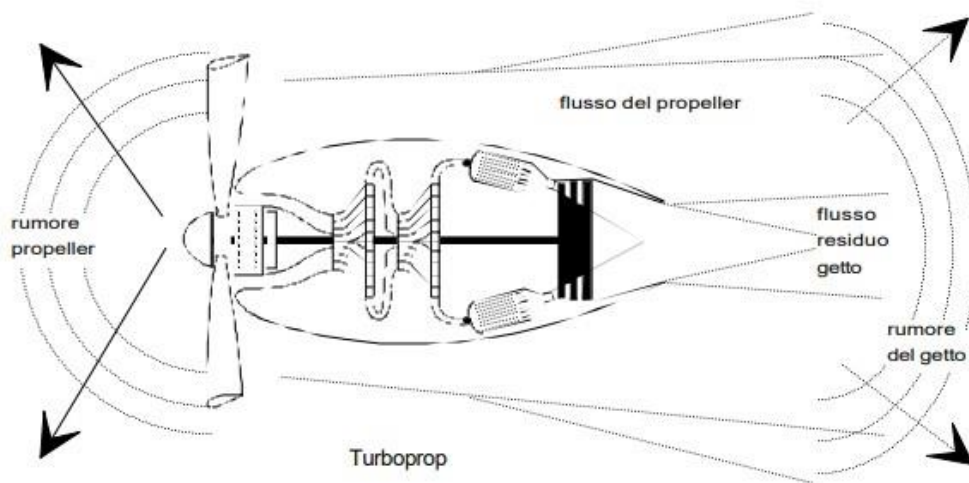


Figura 7 - Schema turboelica esteso

4.1.2 RUMORE AERODINAMICO

Questa sorgente di rumore non è localizzata in un punto preciso, come per il sistema propulsivo, ma diffusa praticamente su tutto il velivolo, dipendendo dall'estensione della superficie investita dal flusso d'aria (fusoliera, cavità, superfici mobili, carrello). Nei moderni velivoli a getto, per configurazione aerodinamica e velocità riferite al volo in crociera, il principale responsabile del rumore intorno alla frequenza dei 600 Hz è proprio il rumore aerodinamico; relativamente alle operazioni di decollo e atterraggio, dato che vengono condotte a velocità ridotta, il rumore aerodinamico risulta inferiore di più di 10 dB rispetto al rumore del sistema propulsivo. Il controllo del rumore aerodinamico nelle condizioni di volo in crociera è essenziale per le implicazioni che questo ha nei confronti del confort di cabina.

Per le operazioni che si svolgono in prossimità di aeroporti e centri abitati, il rumore aerodinamico rappresenta il limite inferiore alla possibilità di ridurre la rumorosità del velivolo ed assume una sempre maggior importanza al diminuire della rumorosità del sistema propulsivo.

Un esempio attuale di riduzione del rumore aeronautico è rappresentato dalla Boeing che ha adottato nel Boeing 787 Dreamliner diverse tecnologie per la riduzione del rumore generato dai motori. Queste includono una presa d'aria contenente materiali fonoassorbenti e la copertura del condotto dello scarico a forma di "denti", chiamato *chevron*, che permette una miscelazione più silenziosa dei gas in uscita con l'aria esterna. Boeing si aspetta che queste

tecniche possano rendere il Boeing 787 Dreamliner significativamente più silenzioso sia all'interno che all'esterno. Le misure di riduzione del rumore promettono di non superare gli 85 dB al di fuori dei confini dell'aeroporto.



Figura 8 - Dettagli chevron

La riduzione del rumore alla sorgente si combatte su due fronti. Il primo concerne i progressi tecnologici introdotti dall'industria aeronautica che negli anni ha progettato e introdotto sul mercato, aerei più performanti anche dal punto di vista delle emissioni acustiche²; il secondo fronte è quello

² Nel 2006 uno studio congiunto condotto dall'University of Cambridge e dal MIT (Massachusetts Institute of Technology) denominato "Silent Aircraft Initiative" si pose come obiettivo quello di sviluppare un progetto concettuale per un aereo il cui rumore (durante il daytime) sarebbe quasi impercettibile al di fuori del perimetro di un aeroporto urbano. Il progetto concettuale che è stato sviluppato si rivolge alla generazione successiva di velivoli e ci sono ancora molte sfide tecniche da superare prima che possa diventare una realtà nel 2030. Tuttavia, il progetto ha anche identificato chiaramente queste sfide e ha quindi fornito una direzione per il lavoro necessario per affrontarle. È stato così concepito il SAX (Silent Aircraft eXperimental), velivolo sperimentale la cui innovativa configurazione si basa sull'integrazione della superficie alare con la cabina passeggeri, le prese d'aria dei motori e le superfici di controllo, con il risultato di ottenere una notevole riduzione delle discontinuità superficiali, grandi sorgenti di rumore in volo.

dell'adeguamento dei velivoli di vecchia generazione, ancora operativi, a migliori standard qualitativi in termini di prestazioni acustiche.

L'approccio alla riduzione del rumore alla sorgente probabilmente è, tra i quattro componenti del balanced approach, quello che è maggiormente legato a fattori economici.

L'impegno del mondo aeronautico è volto a sollecitare gli operatori aerei a rinnovare le loro flotte con aeromobili di nuova generazione, incentivare lo sviluppo di nuove tecnologie e migliorare gli standard di certificazione acustica.

Il documento che garantisce l'adeguatezza del velivolo agli standard di contenimento del rumore è il Certificato Acustico. I requisiti di rilascio sono stabiliti dall'Annex 16 ICAO – Environmental Protection – vol I – Aircraft Noise.

4.1.3 CERTIFICATO ACUSTICO

Il certificato acustico è rilasciato dall'autorità aeronautica del paese di registrazione dell'aeromobile, ENAC se in Italia, purché rispondente ai requisiti previsti da ICAO.

In ambito europeo, la Certification Specification di riferimento, recepisce gli standard del Vol I Annex 16 ICAO, è la CS – 36 EASA. L'EASA pubblica un database di “Certification Noise Level” contenente tutte le configurazioni approvate.

Questa banca dati contiene:

- Gli aeromobili per i quali EASA ha rilasciato una scheda tecnica del certificato di omologazione per il rumore (TCDSN – Type Certification Data Sheets)
- Gli aeromobili con certificazione supplementare (STC – Supplementary Type Certification). È una certificazione che approva modifiche agli aeromobili rispetto al progetto originale.
- Prodotti trasferiti (ovvero aeromobili che prima non erano sotto responsabilità EASA)

Il database di Certification Noise Level contiene quattro categorie di aeromobili:

- Heavy propeller driven aeroplanes
- Jet aeroplanes
- Light propeller driven aeroplanes
- Rotorcraft

I livelli di rumore vengono rilevati in sede di certificazione. I valori e limiti di accettabilità dipendono dalle categorie prima elencate e riguardano tipo di propulsione e massa massima al decollo. La misura più stringente è riservata ai velivoli destinati al trasporto commerciale di persone o cose, ed è la misura del Livello Equivalente di Rumore Percepito (EPNL – Equivalent of

Perceived Noise Level) in tre posizioni durante le manovre di decollo e atterraggio, che rappresentano diverse condizioni operative dei motori:

- Approach: è il primo punto di rilievo e si riferisce all'avvicinamento e all'atterraggio, condizione di bassa potenza. Il punto di rilievo è posizionato sul prolungamento dell'asse pista quando il velivolo si trova a 120 m di altezza relativa a un angolo di discesa di 3°;
- Lateral Full Power: condizione di massima potenza. Il punto di rilievo è posizionato su una linea che corre parallela all'asse pista, ad una distanza da questo di 450m;
- Flyover: si riferisce al decollo, condizione di potenza intermedia. Il punto di rilievo è posto sul prolungamento dell'asse pista a 6500 m dal punto di rilascio freni, lungo la linea parallela all'asse pista ad una distanza di 450 m.

In ciascun punto è necessario ottenere sei rilevamenti validi, cioè non contaminati da rumori esterni e con condizioni meteo accettabili.

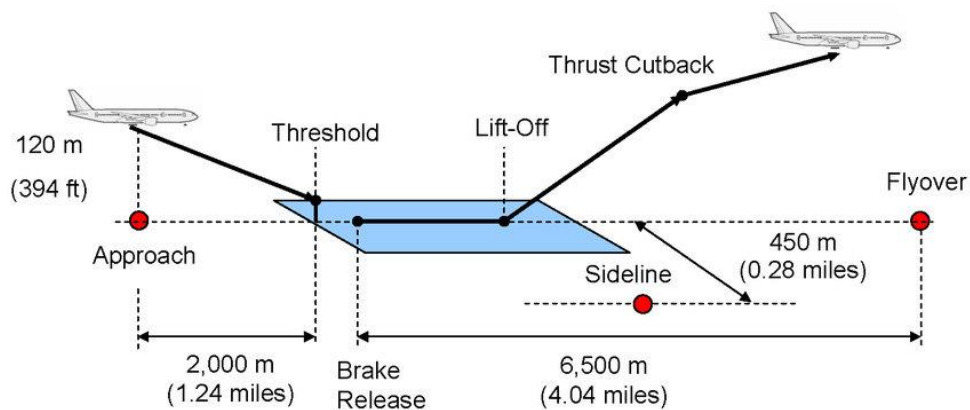


Figura 9 - Punti rilievo EPNL

4.2 PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELL'UTILIZZO DEL TERRITORIO

Il quadro normativo vigente disciplina la pianificazione e l'uso del territorio nelle vicinanze di un aeroporto.

L'obiettivo primario è ridurre al minimo l'esposizione della popolazione colpita dal rumore degli aeromobili, introducendo la cosiddetta “zonizzazione acustica” del territorio.

La compatibilità di un aeroporto con le sue adiacenze può essere ottenuta a monte, mediante una corretta pianificazione.

Idealmente le decisioni sull'uso del suolo intorno ad uno scalo aeroportuale, dovrebbero essere volte al raggiungimento di un equilibrio tra le esigenze delle comunità residenti, gli interessi economici delle attività economiche presenti, lo svolgimento delle attività legate all'infrastruttura aeroportuale e il rispetto dell'ambiente in termini di inquinamento.

La normativa in vigore specifica in modo chiaro e puntuale la responsabilità delle autorità centrali e locali sul contenimento dell'attività urbanistica nelle aree circostanti l'aeroporto.

Le linee guida dell'ICAO concernenti la corretta gestione del territorio sono contenute nell'Annex16-vol I – Parte IV e nel DOC 9184 Parte 2.

Inoltre, al fine di promuovere un metodo uniforme di valutazione del rumore intorno agli aeroporti, l'ICAO raccomanda l'uso della metodologia contenuta del DOC 9911 – Metodo raccomandato per il calcolo dei contorni

acustici intorno agli aeroporti. In Europa questa metodologia è implementata tramite il Doc. N.29 dell'ECAC.

4.2.1 ZONIZZAZIONE ACUSTICA

La definizione delle aree di rispetto nell'intorno aeroportuale è compito delle Commissioni aeroportuali e rappresenta uno strumento fondamentale per la gestione e il controllo del rumore generato da un aeroporto.

La commissione aeroportuale è istituita dall'ENAC, presieduta dal Direttore della circoscrizione aeroportuale ed è composta da:

- Regione, Provincia e Comuni interessati
- Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente
- Ente nazionale di assistenza al volo
- Vettori aerei
- Società di gestione aeroportuale

Ciascun membro ha ruoli definiti all'interno della commissione. Le competenze dei soggetti coinvolti sono così suddivise:

- ENAC (Ente Nazionale Aviazione Civile): istituisce e presiede la Commissione Aeroportuale di ciascun aeroporto aperto al traffico civile; verifica e controlla le certificazioni delle emissioni acustiche degli aeromobili.

- Il Direttore di Circostrizione Aeroportuale: adotta le procedure antirumore, ne contesta le violazioni ai vettori e conseguentemente riscuote le sanzioni amministrative.
- ENAV (Ente Nazionale Assistenza al Volo): fornisce i tracciati radar delle traiettorie degli aeromobili civili, dei sorvoli delle aree di interesse.
- I Vettori: provvedono ad applicare le procedure antirumore.
- La Società esercente: gestisce il sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale; predispone i piani di abbattimento del rumore (assumendone gli oneri).
- I Comuni (dell'intorno aeroportuale): adeguano i piani regolatori alle aree di rispetto aeroportuali; recepiscono nei propri piani di risanamento i piani di abbattimento del rumore aeroportuale.
- La Provincia: esercita attività di programmazione e coordinamento.
- La Regione: esercita attività di programmazione e coordinamento.
- Il Ministero dell'Ambiente: controlla il rispetto dell'attuazione dei piani di abbattimento del rumore aeroportuale.
- ARPA: esercita le attività di controllo dell'efficienza dei sistemi di monitoraggio; effettua eventuali controlli della documentazione relativa alle emissioni sonore degli aeromobili.

La tecnica maggiormente impiegata per visualizzare i livelli di esposizione al rumore aereo trova la sua peculiarità nell'individuazione delle curve isofoniche, che sono un ottimo strumento per valutare la compatibilità della destinazione d'uso del territorio.

Definendo infatti un indice di valutazione del rumore, si possono costruire le curve isofoniche nei dintorni dell'aeroporto, definendo così una zonizzazione acustica del territorio che individua le zone di rispetto.

Le aree di rispetto convenzionalmente individuate sono tre e, per ciascuna sono stabiliti limiti acustici e attività in esse consentite, come stabilito dal DM 31/10/1997.

ZONA	LIMITE LVA (dBA)	ATTIVITÀ CONSENTITA
Esterna alle aree di rispetto	60	Nessuna limitazione
A	65	Nessuna limitazione (consentita presenza aree residenziali)
B	75	Attività agricole e di allevamento, attività industriali, uffici e servizi con adeguate misure di isolamento acustico (non è consentita presenza di aree residenziali)
C	Nessun limite	Attività funzionalmente connesse all'aeroporto

Tabella 2 – Zone di rispetto

All'esterno della zonizzazione acustica aeroportuale, l'aeroporto, oltre a garantire un livello di LVA inferiore a 60 dBA, concorre, insieme alle altre sorgenti acustiche, al livello assoluto di immissione, da confrontare con i limiti della classificazione acustica comunale.

4.2.2 CALCOLO DELLE CURVE DI ISOLIVELLO

Il livello di valutazione del rumore aeroportuale è definito dalla seguente formula:

$$LVA = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{\left(\frac{LVA_j}{10}\right)} \right] \text{dB(A)}$$

in cui: LVA rappresenta il livello di valutazione del rumore aeroportuale; N è il numero dei giorni del periodo di osservazione del fenomeno e LVA_j è il valore giornaliero del livello di valutazione del rumore aeroportuale.

Il numero dei giorni N del periodo di osservazione del fenomeno deve essere ventuno, pari a tre settimane, ciascuna delle quali scelta nell'ambito dei seguenti periodi: 1° ottobre - 31 gennaio; 1° febbraio - 31 maggio; 1° giugno - 30 settembre.

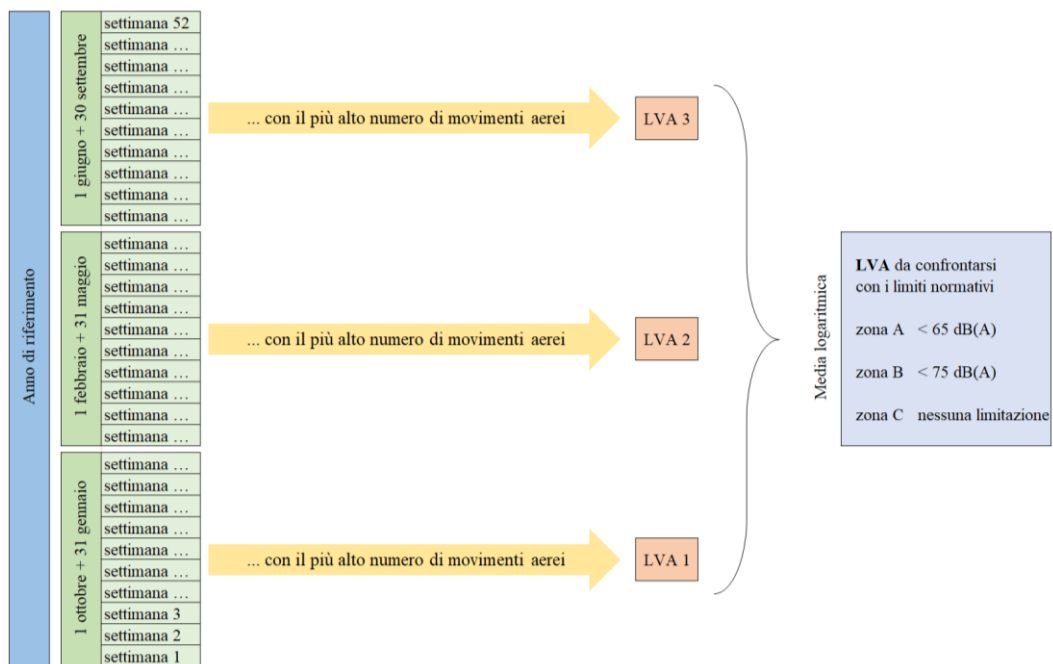


Figura 10 - Calcolo LVA

La settimana di osservazione all'interno di ogni periodo, deve essere quella a maggior numero di movimenti, secondo i dati forniti dal Ministero dei Trasporti e della Navigazione, oppure rilevati dai sistemi di monitoraggio installati. Per ogni settimana di osservazione, la misura del rumore dovrà essere effettuata in modo continuo nel tempo.

Il valore giornaliero del livello di valutazione del rumore aeroportuale (LVA_j) si determina mediante la relazione sottoindicata, considerando tutte le operazioni a terra e di sorvolo che si manifestano nell'arco della giornata compreso tra le ore 00:00 e le 24:00:

$$LVA_j = 10 \log \left[\frac{17}{24} 10^{\frac{LVA_d}{10}} + \frac{7}{24} 10^{\frac{LVA_n}{10}} \right] \text{dB(A)}$$

dove LVAd ed LVAn rappresentano rispettivamente il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo diurno 06.00 – 23.00 e notturno 23.00 – 06.00.

Per identificare i confini delle zone di rispetto occorre determinare le curve di isolivello (curve ideali congiungenti punti del territorio corrispondenti ad uguali valori dell'indice LVA) ossia la mappa acustica. Tali curve rappresentano l'impronta sul territorio del rumore generato da un determinato scenario di traffico (piste e rotte preferenziali, distribuzione dei movimenti sulle varie rotte, tipi di aeromobili, procedure operative adottate, etc.). Variazioni di tale scenario comportano una diversa impronta acustica sul territorio, quindi una conseguente modifica della mappa acustica. Per la definizione della zonizzazione acustica è necessario rilevare lo scenario di traffico ottimale, cioè quello che induce il minor impatto sul territorio in relazione agli obiettivi acustici fissati; utile ai fini del contenimento dell'inquinamento acustico e la definizione delle relative procedure antirumore.



Figura 11 - Curve isolivello Napoli

È però doveroso sottolineare che, nonostante gli sforzi messi in atto per l'uso equilibrato del territorio, a causa della notevole espansione delle aree urbanizzate, oltre che per le caratteristiche morfologiche e orografiche del nostro paese, è assai difficile disporre di aree libere di sufficienti dimensioni da poter adibire a pertinenza esclusiva degli aeroporti.

4.3 PROCEDURE DI ABBATTIMENTO DEL RUMORE

Le procedure di abbattimento del rumore costituiscono una delle quattro colonne dell'approccio bilanciato e come tale, il loro continuo sviluppo e la loro ottimizzazione sono cruciali per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività aeronautiche.

Queste hanno il potenziale per migliorare immediatamente l'impatto ambientale dell'aviazione.

L'impronta acustica rappresentativa dello scenario di traffico di un aeroporto è influenzata dalle procedure operative in volo e da quelle a terra. Dunque, lo studio di una procedura operativa cucita addosso al singolo aeroporto, costituisce una misura importante ai fini della Noise Mitigation.

L'ICAO assiste i paesi membri nello sviluppo e nella standardizzazione di procedure operative sicure, convenienti e a ridotte emissioni sonore.

I benefici delle procedure antirumore, per il decollo o l'atterraggio, sono influenzati dal tipo di parametri di volo scelti. Le variazioni di regime motore lungo il sentiero di decollo ed una diversa configurazione dei flap comportano livelli di rumore diversi nel corso della fase di decollo. Analogamente il rumore percepito per un velivolo in atterraggio è influenzato dai parametri di volo e dalla pendenza del sentiero di avvicinamento. Pertanto, una combinazione di rotte preferenziali antirumore e di un'appropriata tecnica di volo consente di ottimizzare i benefici ambientali.

La gamma delle procedure per l'abbattimento del rumore è vasta, ma l'adequatezza di una procedura antirumore piuttosto che di un'altra, per un dato aeroporto, dipende da fattori fisici propri dell'aeroporto e dei suoi dintorni (urbanizzazione, orografia etc..) ed è quindi subordinata a fattori che possano pregiudicare la sicurezza delle operazioni.

Le NAP devono essere conformi alle disposizioni contenute del DOC 8168 ICAO Vol. 1 sez. 7.

Questo documento illustra le varie procedure e identifica i requisiti minimi di sicurezza per ciascuna di esse.

Le procedure operative di abbattimento del rumore possono essere suddivise in tre categorie:

- Ground management
 - ° Piazzale prova motori e gestione della messa in moto (posizione/orientamento del velivolo, ora del giorno, livello massimo di spinta)
 - ° Gestione dell'APU
 - ° Gestione della fase di taxi
 - ° Towing (traino)
 - ° Controllo della potenza durante la fase di rullaggio (rullaggio con parziale attivazione e funzionamento dei motori)
- Spatial management

- Noise preferred arrival and departure routes
 - Flight track dispersion or concentration
 - Noise preferred runways
- Noise Abatement Flight Procedures - Procedure di volo per l'abbattimento del rumore
- NADP – Noise Abatement Departure Procedures
 - CDO - Continuous Descent Operations
 - Steep Approach, soglia pista spostata
 - Low power/ low drag approach
 - Uso minimo del reverse all'atterraggio

4.3.1 GROUND MANAGEMENT

La gestione intelligente ed efficiente delle operazioni, della gestione del piazzale e della movimentazione al suolo, consentono di apportare benefici alla riduzione delle emissioni acustiche.

Un esempio è dato dall'ACDM (Airport Collaborative Decision Making), che efficientando l'impiego dell'infrastruttura aeroportuale (stands, gates), migliora la puntualità e l'aderenza dei voli agli slot (evitando ad esempio code ai punti attesa) e quindi concorre alla riduzione dell'impatto ambientale sia dal punto di vista delle emissioni di CO₂ che a quelle acustiche.

4.3.2 SPATIAL MANAGEMENT

In fase di progettazione delle rotte preferenziali per l'antirumore, la decisione di applicare la Spreading Noise o la Noise Concentration, o di combinare entrambi i metodi, viene presa analizzando il caso del singolo aeroporto, tenendo conto della densità della popolazione e delle raccomandazioni del comitato per l'abbattimento del rumore interessato.

Concentrare gli aeromobili su precise traiettorie di volo ha il vantaggio di poter evitare aree sensibili al rumore. Tuttavia, quando si applica questo metodo, non è sempre possibile evitare tutte le aree popolate (ad esempio un city airport o un aeroporto circondato da aree equamente popolate); pertanto, la diffusione del rumore è considerata spesso una valida alternativa.

L'istituzione di SID diverse ha lo svantaggio di distribuire il traffico in maniera diffusa su varie direttrici così come avviene, per esempio, con l'assegnazione di specifiche traiettorie di volo in relazione alle diverse categorie di aeromobili. Poiché sono differenti le prestazioni degli aeromobili, la definizione di una quota prestabilita al di sopra della quale è possibile effettuare la virata, determina inevitabilmente una differente posizione rispetto al suolo.

Grazie all'accuratezza e alla precisione della tecnologia RNAV, il rumore prodotto dagli aerei può essere concentrato in modo selettivo su quelle direttrici di volo. Affinché le procedure RNAV possano essere eseguite in modo accurato, devono però essere progettate in modo da tenere conto delle

caratteristiche prestazionali dell'aeromobile; vanno pertanto applicati i criteri contenuti nelle PANS-OPS.

4.3.2.1 NOISE PREFERENTIAL RUNWAY

Una delle misure operative di mitigazione del rumore è la scelta di una Noise Preferential Runway, ovvero la designazione di una pista il cui utilizzo consente di non sorvolare, in decollo, una Noise Sensitive Area: un'area considerata densamente popolata o che ospiti strutture da preservare (musei, scuole, ospedali etc.).

Per gli atterraggi, ai fini dell'abbattimento del rumore, la scelta della pista viene fatta considerando la disponibilità di un'adeguata radioassistenza di precisione (es. ILS, MLS, PBN 3D)

Il pilota può, per motivi di sicurezza, richiedere una pista diversa da quella designata per ragioni di abbattimento del rumore.

Da sottolineare che la designazione della pista preferenziale ai fini dell'antirumore è subordinata ad un serie di fattori pregiudizievoli per la sicurezza delle operazioni di volo, così come riportato da ICAO DOC 8168 Part III, Sez.9 Cap. 2 2.1.4:

“Noise abatement shall not be a determining factor in runway nomination under the following circumstances:

a) if the runway surface conditions are adversely affected (e.g. by snow, slush, ice, water, mud, rubber, oil or other substances);

b) for landing in conditions:

1) when the ceiling is lower than 150 m (500 ft) above aerodrome elevation or the visibility is less than (1 900 m); or

2) when the approach requires vertical minima greater than 100 m (300 ft) above aerodrome elevation and:

i) the ceiling is lower than 240 m (800 ft) above aerodrome elevation; or

ii) the visibility is less than 3 000 m;

c) for take-off when the visibility is less than 1 900 m;

d) when wind shear has been reported or forecast or when thunderstorms are expected to affect the approach or departure;

e) when the crosswind component, including gusts, exceeds 28 km/h (15 kt), or the tailwind component, including gusts, exceeds 9 km/h (5 kt).”

4.3.2.2 ROTTE PREFERENZIALI

La scelta di rotte preferenziali in partenza e in arrivo deriva dalla necessità di evitare il sorvolo di zone sensibili al rumore nei dintorni aeroportuali.

Per stabilire le Noise Preferential Routes si fa riferimento alle PAN-OPS che specificano i criteri di sicurezza delle rotte in partenza e in arrivo, le pendenze e la separazione dagli ostacoli³.

4.3.3 NOISE ABATEMENT FLIGHT PROCEDURE

Le procedure operative per la riduzione del rumore possono prevedere una riduzione della potenza al decollo, a condizione che siano soddisfatte delle minime meteorologiche ai fini della sicurezza:

- Pista non contaminata
 - Visibilità orizzontale superiore a 1,9 km (1NM)
 - Cross wind non superiore a 15 kt
-

³ Non dovrebbero essere richieste virate in decollo e salita iniziale a meno che:

- L'aereo raggiunga (e riesca a mantenere durante tutta la virata) una quota non inferiore a 500 ft AGL e dal più alto ostacolo sotto la traiettoria di volo.
- L'angolo di Bank per le virate durante il decollo è limitato a 15° salvo che sia prevista una fase di accelerazione che consenta di raggiungere velocità per mantenere un Bank >15° in sicurezza.
- Non devono essere previste virate in concomitanza di una riduzione di potenza associata ad una Noise Abatement Procedure.

- Assenza di fenomeni meteorologici pericolosi per il volo (temporale, wind shear, etc).

E anche per le procedure di salita iniziale è indispensabile che siano rispettati determinati requisiti:

- Non devono essere eseguite NAP ad una quota inferiore a 800ft sull'elevazione dell'aeroporto
- La procedura specificata da un operatore aereo per un tipo di aeromobile deve esser uguale per ogni aeroporto.

Per ridurre al minimo l'impatto sulla formazione del personale e al contempo mantenere un adeguato livello di flessibilità per affrontare in sicurezza situazioni diverse, l'operatore aereo non dovrà istituire più di due procedure di partenza per tipo di aereo; una sarà identificata come la normale procedura di partenza e l'altra come procedura di abbattimento del rumore in partenza.

4.3.3.1 NAAP – NOISE ARRIVAL ABATEMENT PROCEDURE

Le procedure di arrivo NAAP per l'abbattimento del rumore comprendono:

- CDO – Continuous Descent Operation
- CDFA - Continuous Descent Final Approach

- Steeper approach, soglie pista spostate
- Low power/ low drag approach

Le operazioni di discesa continue CDO sono tecniche operative di volo che consentono agli aeromobili di seguire un percorso di volo flessibile e ottimale che offre importanti vantaggi ambientali ed economici - riduzione del consumo di carburante, emissioni gassose, rumore e costi del carburante - senza alcun effetto negativo sulla sicurezza.

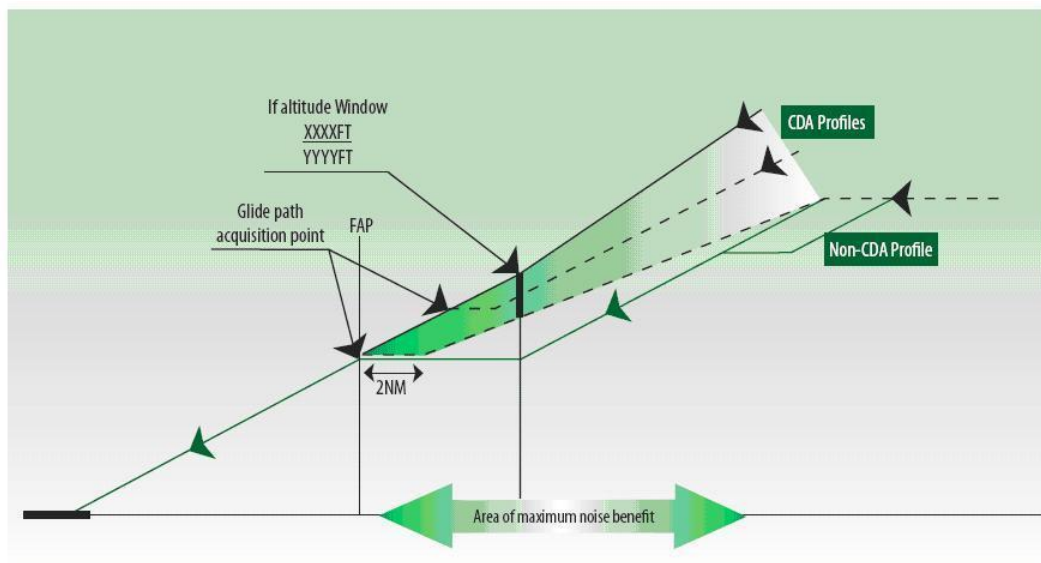


Figura 12 - Profilo CDA

In uno standard approach (non CDA), l'aereo scende gradualmente, alternando segmenti di discesa e tratti di volo livellato.

Eseguendo un CDA l'aereo rimane ad una quota maggiore più a lungo e opera con motore a potenza inferiore. Entrambi questi elementi inducono una riduzione del consumo di carburante, delle emissioni e del rumore lungo il profilo di discesa prima del punto in cui l'aeromobile intercetta il sentiero di avvicinamento finale.

La Continuous Descent ideale inizia al TOD (Top of Descent), ovvero l'ultimo punto della fase di crociera (calcolato dall'FMS) e termina al FAF (Final Approach Fix).

La CDFO – Continuous Descent Final Operation, invece, è una tecnica per volare il segmento di avvicinamento finale di una procedura di avvicinamento non di precisione (NPA), come una discesa costante, senza livellamento, da un'altitudine pari o superiore all'altitudine prefissata per l'avvicinamento finale (FAF) fino ad a un punto situato a circa 50 ft AGL dalla soglia pista (o il punto in cui dovrebbe iniziare la manovra di flare per il tipo di aeromobile utilizzato).

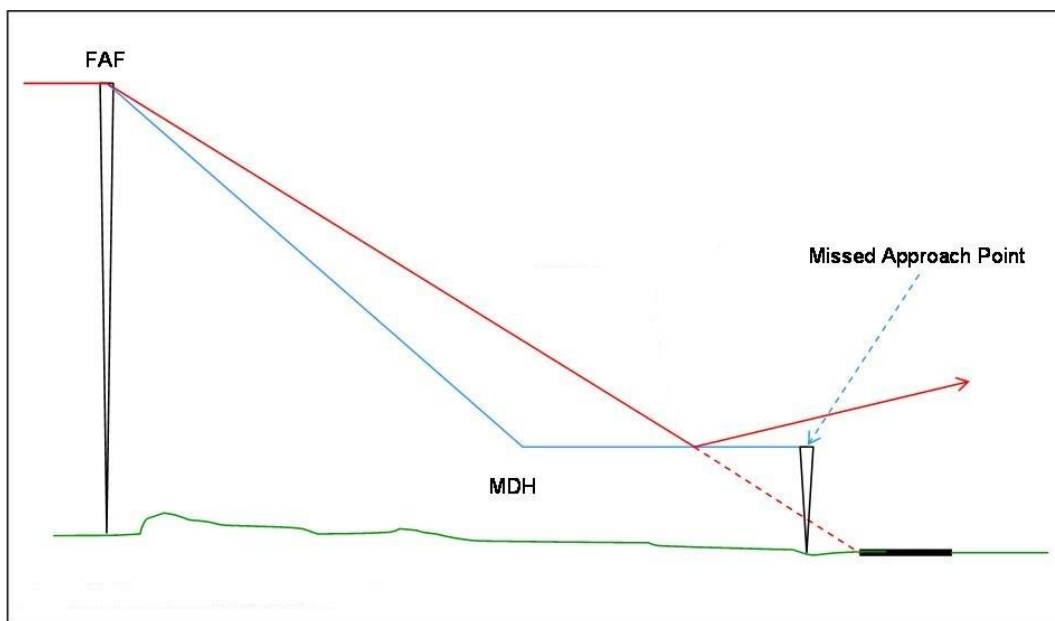


Figura 13 - Profilo CDEFA

Per steep approach and landing - SAL, si intende una procedura di avvicinamento con un angolo di discesa più ripido dello standard.

La maggior parte degli avvicinamenti standard, avviene con angoli di avvicinamento di 3° (o comunque inferiori a $4,5^\circ$) e non richiedono requisiti specifici per gli aeromobili.

Gli angoli di avvicinamento maggiori di $4,5^\circ$ sono definiti come avvicinamenti ripidi e richiedono specifiche approvazioni (le procedure e gli equipaggi devono essere certificati). Infatti, il mantenimento della traiettoria di volo e della velocità risultano più impegnative all'aumentare dell'angolo di avvicinamento e sono necessarie accurate correzioni di potenza che presuppongono abilità e tecniche specifiche.

La discesa ripida è talvolta associata ad atterraggi su campi corti (o RWY la cui soglia di pista spostata determina una riduzione della LDA). Anche per lo short landing gli equipaggi e gli aeromobili devono essere certificati ma questa certificazione è diversa da quella prevista per gli steep approach.



Figura 14 - Steep approach

Infine, tra le tecniche di volo per la riduzione del rumore in avvicinamento figura la LP/LD Low Power/ Low Drag, che consiste nel mantenere il più a lungo possibile bassa potenza (riducendo il rumore dovuto al sistema propulsivo) e l'aereo in configurazione pulita, con flaps e slats retratti ed una procrastinata estensione del carrello, al fine di ridurre il rumore aerodinamico.

Associare le tecniche di LP/LD con le CDO, mantenendo l'aereo il più in alto possibile e il più a lungo possibile, consente di massimizzare gli effetti della riduzione dell'impatto del rumore al suolo.

4.3.3.2 NADP – NOISE ABATEMENT DEPARTURE PROCEDURES

Le procedure operative per il decollo e la salita iniziale devono garantire gli standard di sicurezza delle operazioni di volo, riducendo al minimo l'impatto acustico al suolo.

Le riduzioni del rumore che si ottengono dipendono fortemente: dal tipo di aeroplano, dal tipo di motore, dalla spinta richiesta e dall'altezza alla quale la spinta viene ridotta.

Per questo motivo, le procedure che forniscono il miglior beneficio acustico possibile possono differire in modo significativo da un tipo di aeroplano all'altro, e tra aeroplani dello stesso tipo equipaggiati con motori diversi.

ICAO nel DOC 8168, nell'Appendice al Capitolo 3 – Noise Abatement Departure Climb Guidance, individua due procedure per l'abbattimento del rumore in partenza, una che allevia l'impatto acustico in prossimità della pista di volo e l'altra che lo mitiga lontano dalla pista. Le NADP integrano l'uso di piste preferenziali e rotte preferenziali per l'antirumore.

La NADP 1 è istituita per mitigare il rumore nelle noise sensitive areas vicino all'estremità della pista di volo.

Questa procedura comporta una riduzione della potenza all'altitudine minima prescritta o sopra di essa e ritarda la retrazione dei flap/slat fino al raggiungimento dell'altitudine massima prescritta.

All'altitudine massima prescritta, accelerare e ritrarre flap/slat nei tempi previsti mantenendo un rateo di salita positivo e completare la transizione alla normale velocità di salita in rotta.

La noise abatement procedure non deve iniziare a meno di 800 piedi AGL. La velocità iniziale di salita al punto di inizio della NADP non deve essere inferiore a $V_2 + 10$ nodi.

Al raggiungimento di un'altitudine pari o superiore a 800 piedi AGL, regolare e mantenere la spinta del motore in conformità con il programma di spinta antirumore fornito nel manuale operativo dell'aeromobile. Mantenere una velocità di salita di $V_2 +$ da 10 a 20 nodi con flap e slat in configurazione di decollo. A non più di 3000 piedi AGL, pur mantenendo un rateo di salita positivo, accelerare e ritrarre flap/slat nei tempi previsti. A 3000 piedi AGL, accelerare fino alla normale velocità di salita in rotta.

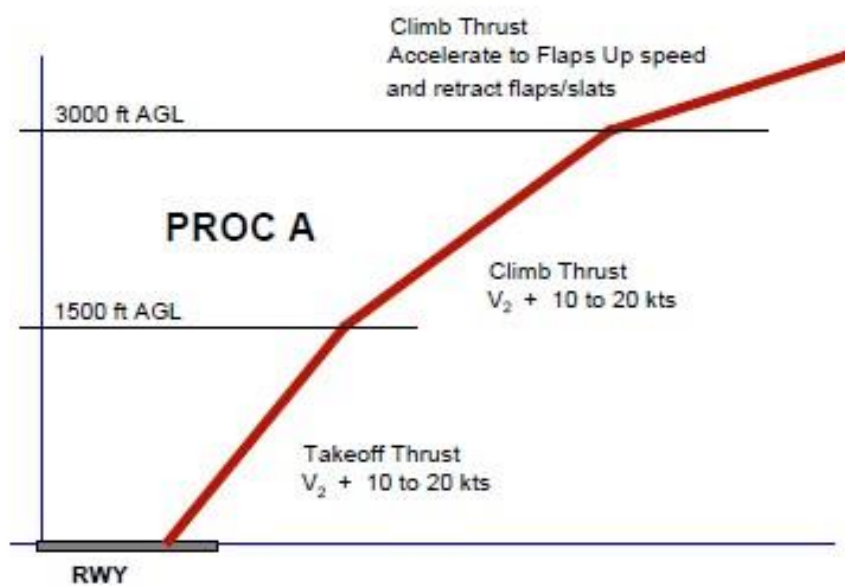
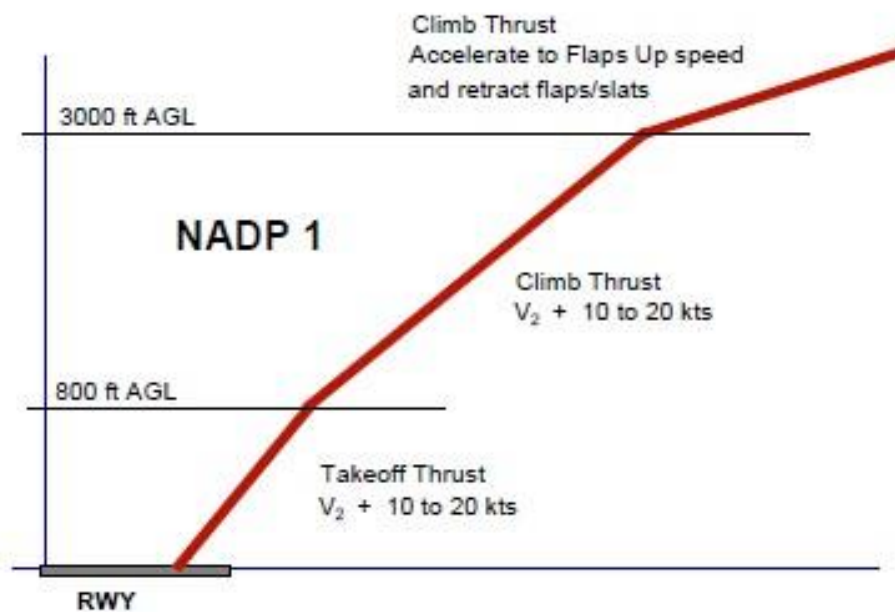


Figura 15 - Profili NADP 1

La NADP 2 è invece istituita per mitigare il rumore nelle noise sensitive areas non immediatamente adiacenti alla pista. Questa procedura prevede la retrazione di flaps/slats raggiungendo l'altitudine minima prevista. Devono inoltre essere retratti mantenendo un rateo di salita positivo. La riduzione di potenza deve avvenire contestualmente alla retrazione delle superfici mobili o comunque quando la retrazione è completata.

Così come la NADP 1, anche la NADP 2 non può iniziare a meno di 800 ft AGL. Fino al raggiungimento del punto di inizio procedura la velocità deve essere $V_2 + 10$ o 20 kt.

Raggiungendo l'inizio procedura (800 ft o più) bisognerà diminuire l'assetto pur mantenendo un rateo di salita positivo, un'accelerazione fino alle velocità di Flaps Up + 10 o 20 kt fino al raggiungimento di 3000 ft AGL. Ai 3000 ft accelerare fino alla normale velocità di salita in rotta.

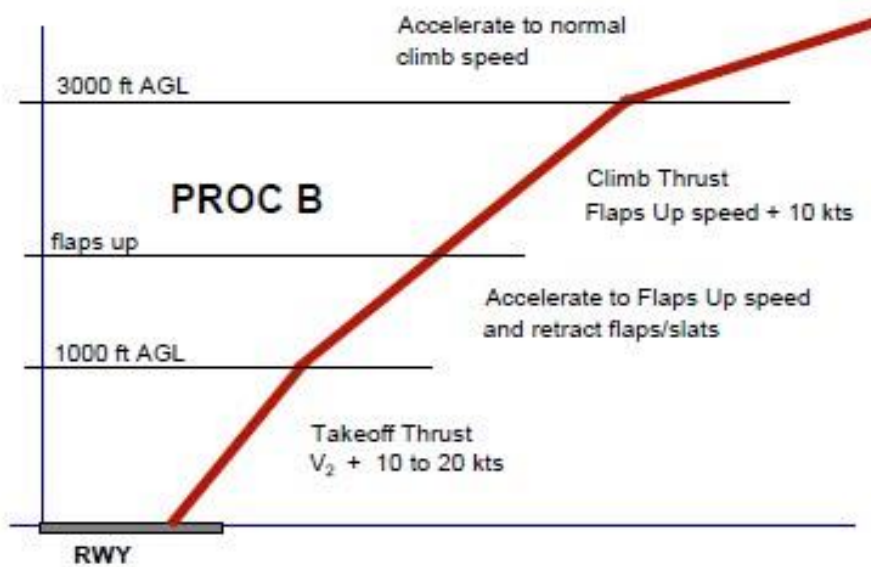
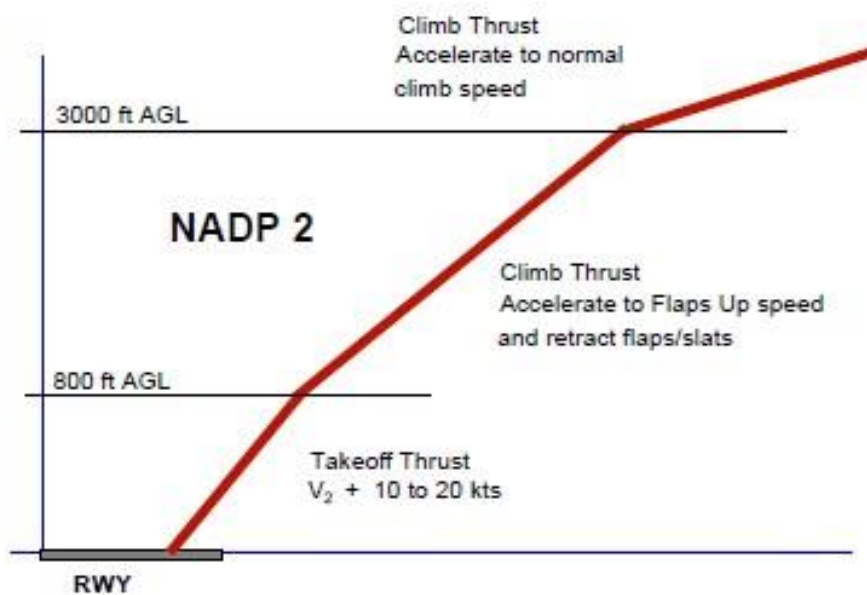


Figura 16 - Profili NADP 2

Di seguito una tabella riassuntiva e un grafico che mettono a confronto le due procedure di partenza per l'abbattimento del rumore:

NADP 1 (Close- in)	NADP 2 (Distant)
Mira a fornire una riduzione del rumore nelle aree sensibili al rumore vicine all'estremità della pista.	Mira a fornire una riduzione del rumore nelle aree sensibili al rumore distanti dalla pista.
La riduzione della spinta inizia prima dell'inizio della retrazione di flaps/slats.	La riduzione della spinta inizia dopo l'inizio della retrazione di flaps/slats.
La potenza di salita viene mantenuta tipicamente fino a 1500 ft sull'elevazione dell'aeroporto e poi ridotta.	La potenza può essere ridotta già a 800 ft sull'elevazione dell'aeroporto.
I criteri di velocità e spinta sono mantenuti da 3000 ft AGL fino alla configurazione di salita in rotta.	
Partenza Standard Internazionale.	Partenza Standard negli US.

Tabella 3 - Confronto NADP 1 e NADP 2

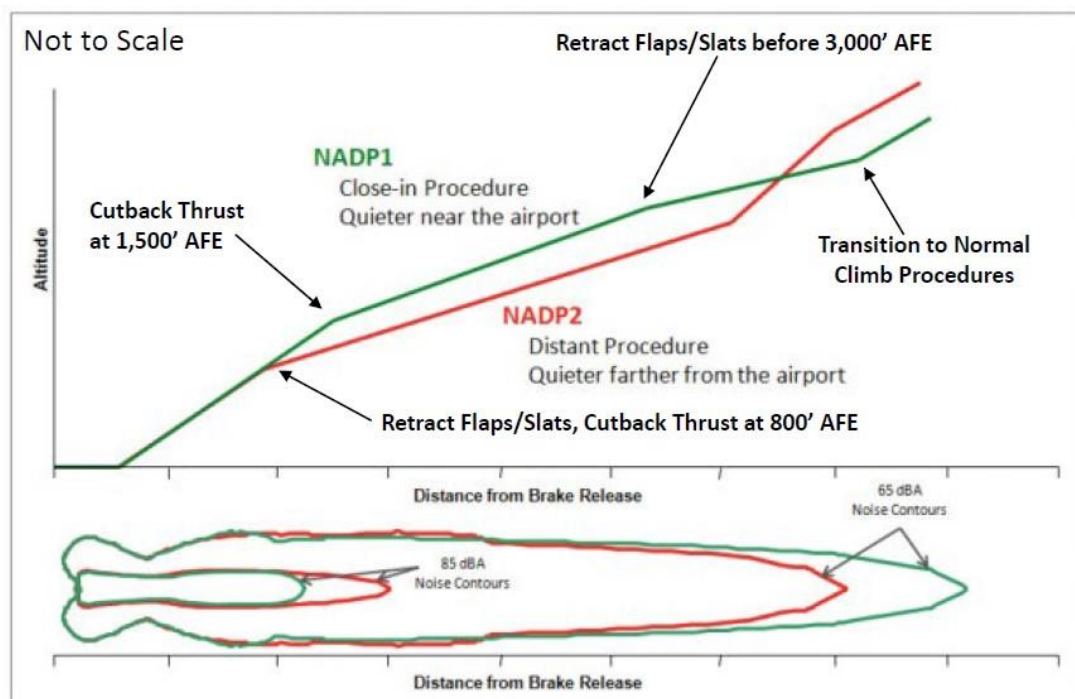


Figura 17 - Confronto NADP 1 e NADP 2

4.4 RESTRIZIONI OPERATIVE

Le restrizioni operative sono misure straordinarie per la riduzione del rumore, volte a disciplinare l'accesso dei velivoli e la riduzione del numero di movimenti aerei. Esse possono essere adottate qualora sia dimostrato che ogni altra misura disponibile per la riduzione del rumore è risultata inefficace.

In Italia, il Decreto Legislativo n. 13 del 17 gennaio 2005, che recepisce la Direttiva UE 2002/30, prevede restrizioni operative per gli aeroporti italiani con un traffico superiore a 50.000 movimenti, riferiti alla media dei tre anni precedenti.

Alcune delle possibili restrizioni operative sono:

- Movements caps
- Limitazione voli notturni

Assoclearence pubblica ogni anno, per l'Italia, il numero massimo di movimenti consentiti per i vari aeroporti; per alcuni sono esplicitate delle limitazioni anche in ragione della noise mitigation.

	BGY	BLQ ¹	CAG	CIA	CTA	FCO	FLR	GOA	LIN	MXP ⁷	NAP ⁷	PMO	PSA ¹	TRN	TSF ⁸	VCE	VRN ¹
Runway capacity:																	
Movements per hour:	26	24	12/17	10/12 ²	20	90	15	25	18	70/18 ⁶	30	21	10/14	27	6	32	16
Number of stands:	45	31	23/25	12/17	25	117/125	14/16	20	39	132	25	25/33	17	/ ³	7/9	47	20/24
Air Terminal Capacity:																	
International:																	
arriving pax per hour	1250	1000	1200		600	4800	760	1250		1000 ⁵		450	1000		350	1800	720
departing pax per hour	2000	1000	600		400	6000	350	700		3700	2150	400	1000		350	1630	720
Domestic + Schengen																	
arriving pax per hour	3000	2000	1850		1400	9500		1250				1550	3000				1500
departing pax per hour	2900	2000	1200		1600	9000		700			2600	1550	3000			2780	1600
International+Domestic																	
arriving pax per hour		3000	3050	1400	2000		2000		4400	8700	4500	2000		2500	700	4400	1500
departing pax per hour		3000	1800	1400	2000		1400		3800 ⁴	6100	4750	1950		2500	700		1600
Note: ¹ - Scheduled Facilitated Airports Note: ² - Limitation due to noise impact analysis in progress by Italian Civil Aviation Authorities // max 65 movements per day // Note: ³ - Aircraft stands of Turin airports are foreseen into four flexible area, arranged for a maximum capacity of 6 wide bodies plus 19 narrow bodies Note: ⁴ - With maximum 600 extra - Schengen Note: ⁵ - Total of terminal 1 capacity Note: ⁶ - From 23:30 LT to 06:30 LT 18 movements/hour Note: ⁷ - From 23:30 LT to 06:30 LT 18 movements/hour Note: ⁸ - environmental annual limit of 82.500 movements/year - environmental annual limit of 18.999 movements/year																	

Figura 18 - Report movimenti Assoclearence

Un esempio di restrizione operativa è quello dell'aeroporto di Napoli Capodichino che per limitare le emissioni acustiche nelle ore notturne ha regolamentato, mediante un NOTAM l'utilizzo della pista:

```

LIXX 1A7997/2022      28/10/2022  10:02      IN FORCE
AGAF      A)NAPOLI/CAPODICHINO
AIR      B)2022-10-30 05:00  C)2023-01-27 22:00 EST
LIRN      E)NOISE ABATEMENT PROCEDURES.

          DRG HR 1800-0500 USE OF RWY FOR DEP AND ARR IS ADDITIONALLY
          REGULATED ON TRIAL BASIS AS FLW, EXC FOR SAFETY (OPERATIONAL OR
          METEREEOLOGICAL CONDITIONS), SECURITY:
          - DEP:
            1800-2200 ONLY FM RWY24
            2200-0500 ONLY FM RWY06
          - ARR:
            ONLY RWY24

          IF A PILOT CONSIDERS THAT RWY IN USE DOESN'T MATCH THE NEED FOR THE
          SAFETY OF FLT OPS MAY REQUEST THE AUTH FOR THE USE OF ANOTHER RWY,
          AND IN THIS CASE THE ACFT MAY BE SUBJ DLA.

          REF AIP AD 2 LIRN 1-14
          Q)LIRR/QFAXX/IV/NBO /A /000/999/4053N01417E005

```

Figura 19 - NOTAM

5. PERFORMANCE BASED NAVIGATION

5.1 DALLA GROUND-BASED ALLA PERFORMANCE BASED NAVIGATION

Per giungere alla trattazione delle PBN è necessario fare una breve digressione su cosa si intenda per navigazione aerea e su come si sia passati dalla navigazione convenzionale alla navigazione d'area (RNAV).

Per navigazione aerea si intende il processo di determinazione della posizione geografica di un aeromobile e il mantenimento della direzione desiderata di movimento (rotta prestabilita) relativamente alla superficie terrestre.

Esistono diversi tipi di navigazione aerea:

- la navigazione a vista, che prevede la conoscenza da parte del pilota della geografia della zona;
- la navigazione stimata e osservata, che prevede invece l'uso di strumenti di bordo come bussola magnetica, anemometro e orologio, per eseguire una prima pianificazione del volo e correggere la rotta;
- la navigazione strumentale, in cui si usano gli strumenti e i ricevitori di bordo al fine di indicare al pilota la sua posizione e la sua direzione;

- la navigazione isobarica e astronomica che prevedono rispettivamente come punti di riferimento il meteo e le stelle e che sono tipologie di navigazioni ormai non più in uso;
- la navigazione satellitare e inerziale che si avvale di un'unità di misura inerziale⁴.

Il traffico aereo commerciale, storicamente si è avvalso e tutt'ora si avvale della navigazione strumentale, condotta quindi con l'ausilio della strumentazione di bordo e delle radioassistenze ubicate al suolo, quali: VOR, NDB, DME.

Le rotte vengono quindi definite utilizzando le posizioni geografiche delle radioassistenze o dei FIX ottenuti dall'intersezione di radiali tra due NAVAID o una distanza e un rilevamento da uno di questi.

Nella navigazione convenzionale gli aerei devono sorvolare questi punti prestabiliti (radioassistenze o FIX).

⁴ Un'unità di misura inerziale o piattaforma inerziale (nota anche come inertial measurement unit, o IMU) è un sistema avionico che implementa il sistema di navigazione inerziale di un aeromobile. E' basato su sensori inerziali, come accelerometri e giroscopi, che permettono un monitoraggio della dinamica di un mezzo in movimento, il quale può essere utilizzato dal computer o centralina di bordo per attuare eventuali correttivi.

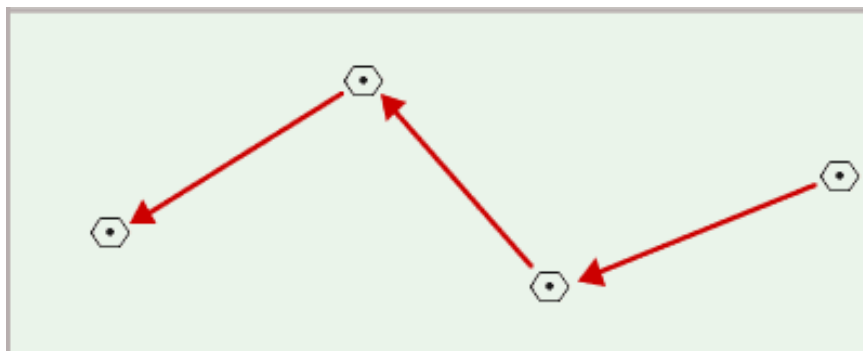


Figura 20 - Conventional navigation

All'inizio degli anni '70, fu introdotta sugli aerei commerciali la prima avionica⁵ digitale. Il Lockheed L-1011 TriStar è identificato come il primo aereo civile ad avere questa funzionalità.

Questi primi sistemi avionici, molto semplici, consentivano al pilota di inserire nel computer di bordo le coordinate di un punto qualsiasi, il quale restituiva una “guida” da seguire tramite un indicatore di deviazione della rotta (CDI - course deviation indicator); potevano essere memorizzate le coordinate di soli quattro punti, denominati "waypoints".

⁵ Con il termine avionica si indicano tutti gli equipaggiamenti elettronici installati a bordo degli aeromobili e preposti al pilotaggio. L'avionica include i sistemi di navigazione e comunicazione, autopiloti e sistemi di condotta di volo. L'ente internazionale per l'aviazione civile definisce avionica "qualsiasi dispositivo elettronico, compresa la sua parte elettrica, utilizzato in un aeromobile, includendo dispositivi per comunicazioni radio, sistemi di volo automatico e strumentazione"



Figura 21 - Prima avionica digitale

Negli anni '90, con l'aumento dei livelli di traffico e la conseguente necessità di aumentare la capacità dello spazio aereo, si pensò ad ottimizzare le funzionalità dei computer di bordo (ormai presenti pressoché su tutti i velivoli commerciali); si arrivò così al concetto di Navigazione d'Area – RNAV (aRea NAVigation).

5.2 RNAV

La navigazione d'area è un metodo di navigazione che consente all'aeromobile di percorrere qualsiasi traiettoria di volo desiderata senza rimanere vincolati al concetto navigazione convenzionale e all'obbligo di sorvolo di radioassistenze o fix.

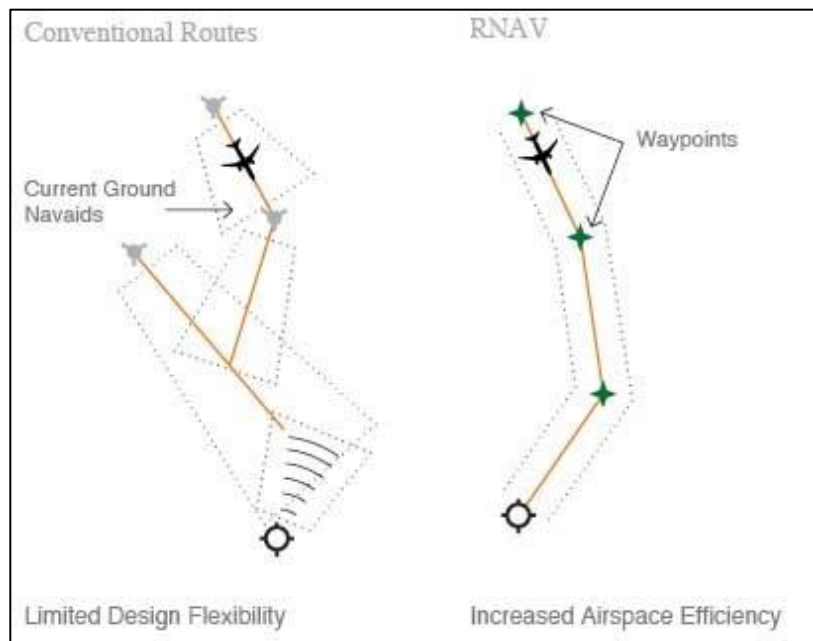


Figura 22 - Confronto Navigazione convenzionale e RNAV

Il sistema di navigazione RNAV prevede che il traffico strumentale possa volare qualsiasi rotta utilizzando le radioassistenze a terra, (purché la specifica area risulti coperta) oppure utilizzando sistemi di navigazione autonomi (satellitari) oppure avvalendosi di entrambi i sistemi: (VOR/DME; DME/DME; DME/DME/IRU; INS/IRS; GNSS; LORAN C).

L'utilizzo combinato di questi sistemi (automatico da parte del computer di bordo), permette di determinare la propria posizione nello spazio, al fine della navigazione.

Il computer di bordo ha come input informazioni provenienti da radioassistenze o da satelliti e determina le informazioni di posizione, calcolando rotta, distanza e tempo per raggiungere un punto prefissato e

fornisce le informazioni necessarie per la gestione della rotta. Una procedura basata sull'utilizzo delle classiche radioassistenze a terra comporta una serie di limitazioni in termini di strumentazione richiesta, costi, manutenzione, precisione e, talvolta l'impossibilità di installare i radiofari a causa dell'orografia impervia o inaccessibile.

Ovviamente la navigazione RNAV ha portato dei vantaggi: maggiore precisione, traiettorie di volo ottimizzate: per le aerovie (navigazione in rotta) che sui segmenti di decollo o di avvicinamento. Non ultimo, un enorme risparmio economico dovuto alla riduzione degli impianti e delle installazioni al suolo.

Purtroppo, anche i sistemi RNAV hanno dei limiti: infatti i computer di bordo non sono in grado di discriminare gli eventuali errori indotti da erronee elaborazioni o da informazioni rilevate e non dipendenti dal sistema di bordo; inoltre, i waypoints sono contenuti in un database di bordo che necessita di continui aggiornamenti e integrazioni.

Parte integrante della navigazione d'area sono i concetti di Fly-by e Fly-over waypoints.

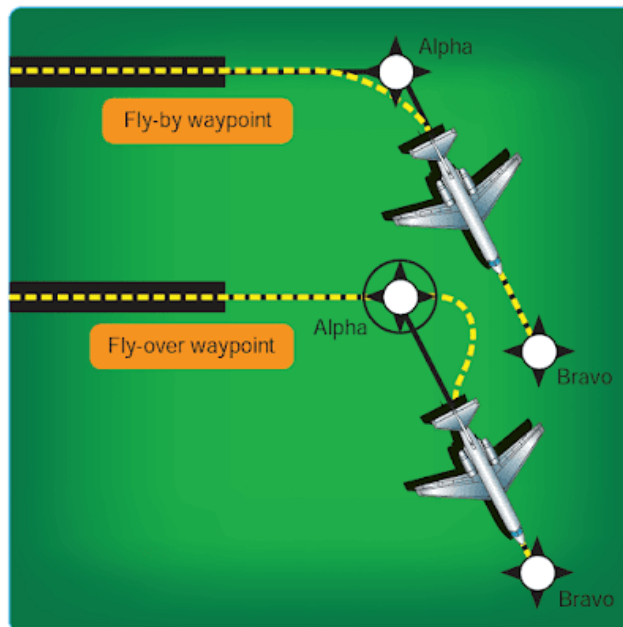


Figura 23 - Fly-by e Fly-over

Fly-by waypoint richiede l'anticipazione della virata per consentire l'intercettazione tangenziale del segmento successivo di una rotta o di una procedura.

Fly-over waypoint, dopo il cui sorvolo viene avviata una virata correttiva per ricongiungersi con il successivo segmento di rotta o di procedura.

5.3 RNP

L'evoluzione delle specifiche RNAV è rappresentata dalle specifiche RNP – Required Navigation Performance. Le prestazioni di navigazione richieste o RNP sono dei parametri che descrivono l'accuratezza necessaria per la navigazione all'interno di uno specifico spazio aereo attraverso valori di deviazioni orizzontali massime consentite.

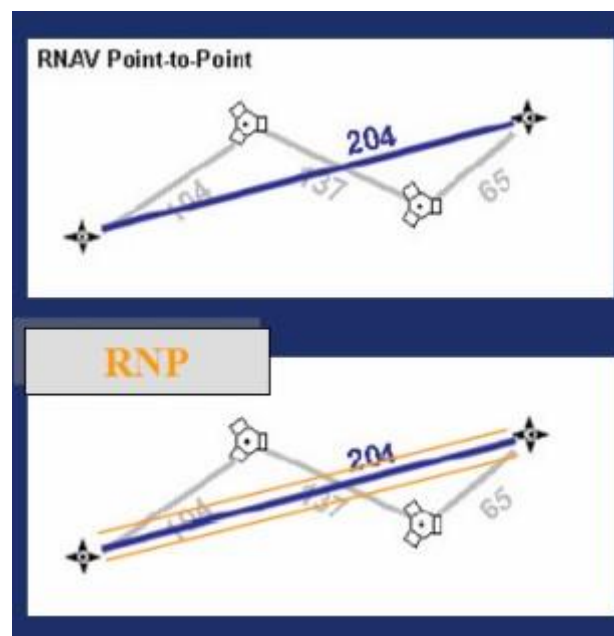


Figura 24 - RNP

Sostanzialmente le specifiche RNP sono un sottoinsieme delle RNAV e, la vera differenza che il concetto RNP ha introdotto rispetto all'RNAV è il sistema di sorveglianza e di allerta a bordo degli aeromobili (OBPMA) che permette di monitorare e allertare i piloti nel caso di off-set dalla rotta programmata, garantendo una maggiore situation awareness. Qualsiasi errore

di deviazione oltre un certo limite consentito viene evidenziato da un allarme acustico o visivo.

Il monitoraggio e gli avvisi delle prestazioni a bordo sono gli elementi principali per determinare se il sistema di navigazione è conforme al livello di precisione necessario per una specifica RNP; si riferisce agli scostamenti sia laterali che longitudinali rispetto alla rotta, consentendo all'equipaggio di rilevare se il sistema di navigazione sia nel pieno della sua funzionalità e possa quindi garantire le prestazioni richieste per le operazioni in navigazione

5.3.1 OBPMA – On Board Performance Monitoring and Alerting

Il sistema di monitoraggio e allarme ha diversi vantaggi:

- Capacità del sistema di navigazione dell'aeromobile e del pilota di monitorare le prestazioni di navigazione disponibili e fornire un allarme;
- Capacità di variare su un sistema alternato di navigazione o interrompere l'attività, in caso di allarme;
- L'allarme non è posto in relazione alla posizione dell'aeromobile (o alla rotta prevista), bensì all'incertezza della posizione stimata;
- L'allarme è attivato quando il raggio di incertezza eccede il valore di RNP assegnato a quel segmento di rotta o di porzione di spazio aereo.

Rispetto alla navigazione d'area tradizionale, le RNP consentono anche traiettorie curvilinee (fixed radius path) e profili verticali.

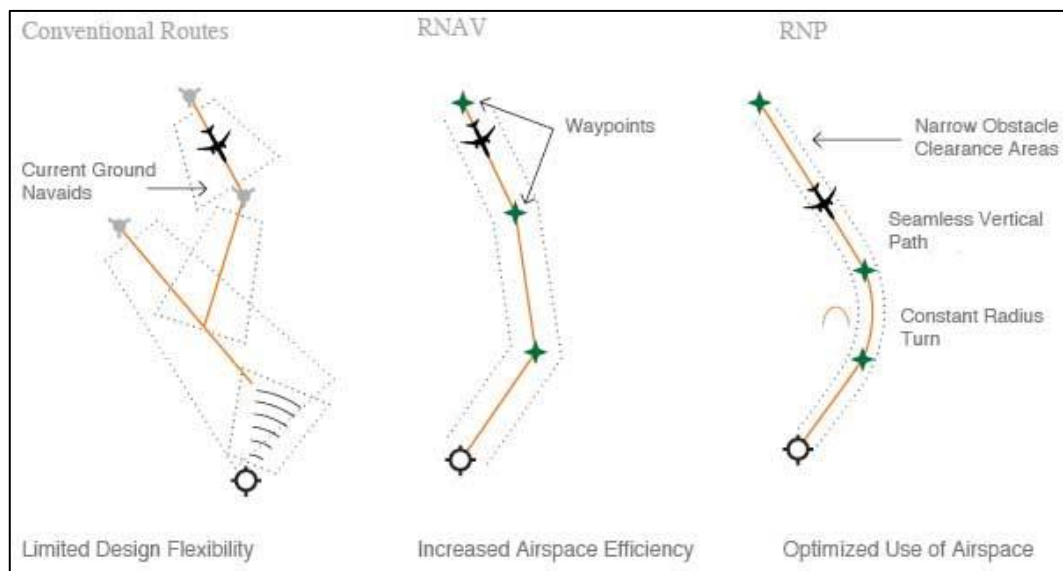


Figura 25 - Confronto navigazione convenzionale, RNAV e RNP

Il concetto di **RNP**, dunque, offre la possibilità di ottimizzare le procedure di volo poiché è possibile un elevato grado di flessibilità progettuale, a condizione che la strumentazione dell'aeromobile soddisfi i più sofisticati requisiti operativi.

5.4 PBN

ICAO nel 2007 pubblicò il DOC 9613- PBN Manual, allo scopo di uniformare e standardizzare i requisiti operativi. Il concetto RNP richiedeva una prestazione di navigazione ma non specificava come ottenerla. Pertanto, era possibile che in Stati diversi, per volare la stessa RNP, fossero richiesti equipaggiamenti o certificazioni operative differenti.

PBN è quindi uno standard globale che identifica i requisiti di un sistema di navigazione d'area in termini di precisione, integrità, continuità e funzionalità. L'operatore, in linea teorica, è libero di scegliere il proprio equipaggiamento da installare a bordo dell'aeroplano e in base alle caratteristiche dei sistemi di navigazione potrà essere certificato per volare determinate procedure. L'utilizzo del concetto PBN ha portato alla modifica di quasi tutte le procedure di partenza, arrivo e avvicinamento degli aeroporti italiani.

Il concetto PBN si basa su requisiti prestazionali dei sistemi di navigazione (tali requisiti riguardano sia l'aeromobile che l'equipaggio).

Le specifiche RNAV/RNP fanno parte del concetto più esteso di PBN.

In Italia nel 2012 fu pubblicato il "Piano Nazionale PBN", redatto congiuntamente da ENAC ed ENAV, secondo quanto richiesto agli Stati membri dalla Risoluzione ICAO A37-11.

ENAC recita: *“l'indipendenza dai radioaiuti tradizionali 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 di terra. 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, emissione di CO2, consumo di carburante, incremento della capacità dello spazio aereo e ottimizzazione del costo dell'infrastruttura di terra.”

L'introduzione delle PBN rappresenta quindi il passaggio tecnologico tra la navigazione basata su sensori e installazioni al suolo e la navigazione basata sulla navigazione satellitare e le prestazioni correlate ad essa.

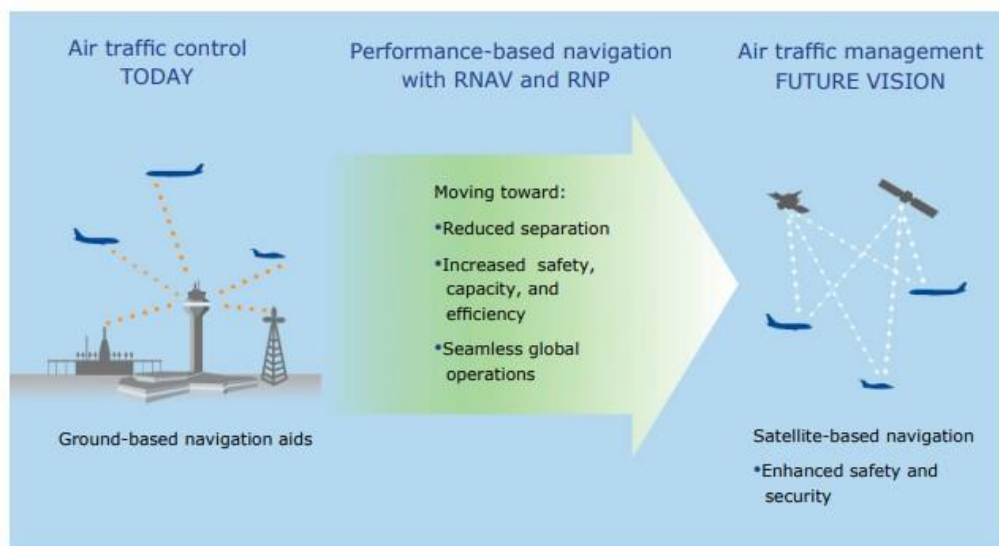


Figura 26 - Verso le PBN

Il concetto di navigazione basata sulle performance consta di tre componenti:

- 1) Navigation application
- 2) Navigation specification
- 3) Navaid infrastructure

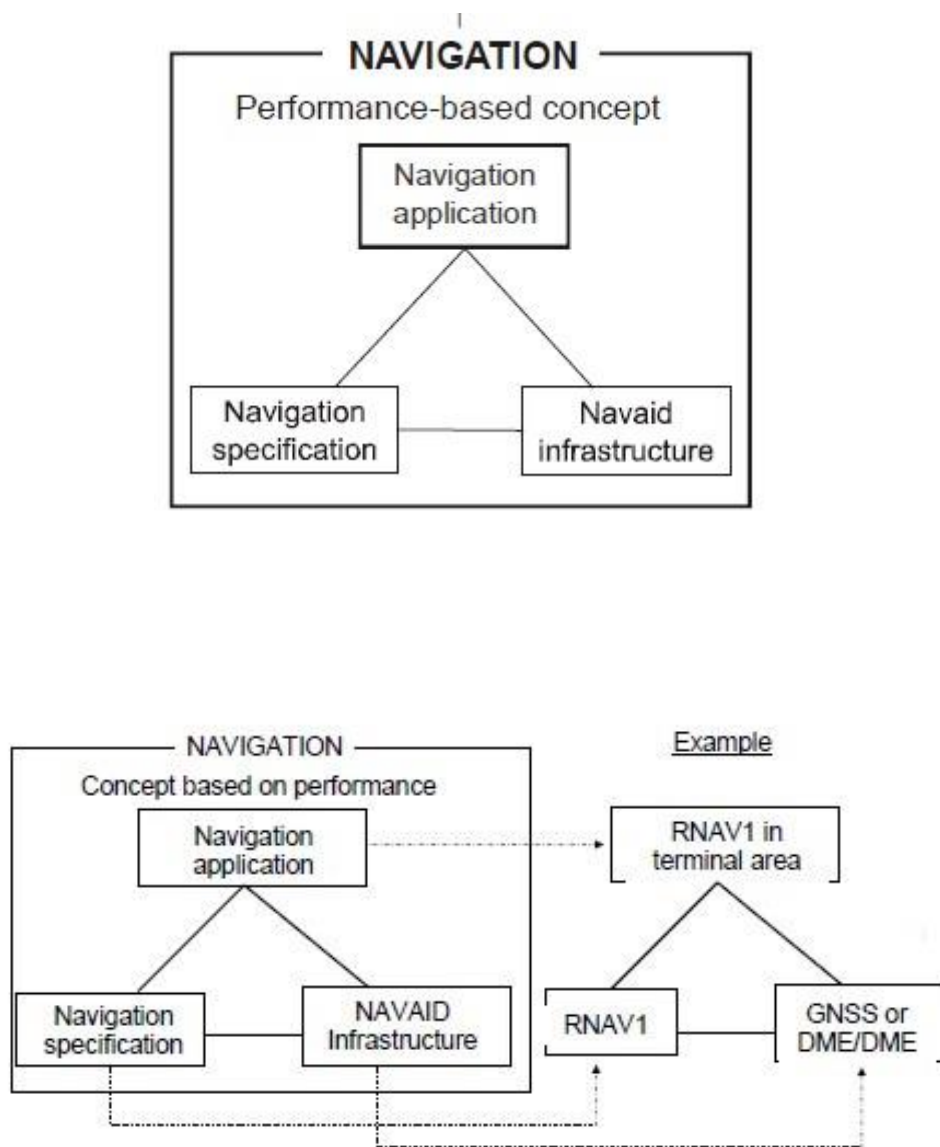


Figura 27 - Schema PBN ed esempio

5.4.1 NAVIGATION SPECIFICATION

Una specifica di navigazione del sistema RNAV descrive in dettaglio le prestazioni richieste in termini di accuratezza, integrità, disponibilità e continuità; quali funzionalità di navigazione deve avere il sistema, quali sensori di navigazione devono essere integrati nel sistema e quali requisiti di certificazione sono imposti all'equipaggio di volo.

Le specifiche di navigazione previste dall'ICAO sono contenute nel secondo volume del DOC 9613.

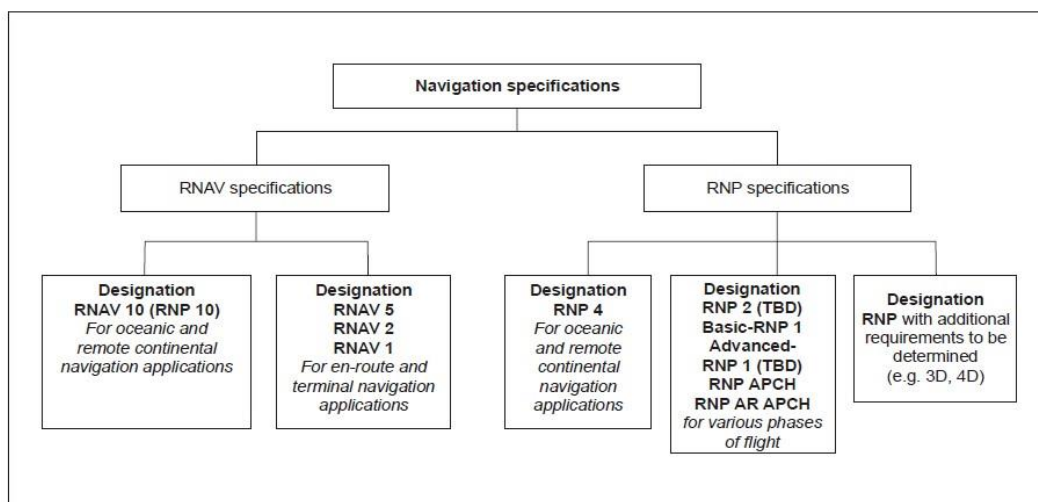


Figura 28 - Navigation specification

5.4.2 NAVAID INFRASTRUCTURE

Insieme dei sistemi di navigazione (lato aria e lato terra) disponibili per il raggiungimento dei requisiti delle Specifiche di Navigazione (VOR/DME, IRU, GNSS etc.). Dal punto di vista delle infrastrutture, la chiave per lo sviluppo delle PBN è il sistema GNSS (Global Navigation Satellite System).

5.4.2.1 GNSS

Il GNSS è un sistema di geo-radiolocalizzazione per la navigazione terrestre, marittima o aerea, basato su una costellazione di satelliti artificiali posti in orbita intorno alla Terra e sugli pseudoliti.

Un tale sistema fornisce un servizio di posizionamento geo-spaziale a copertura globale che consente a piccoli ed appositi ricevitori elettronici di determinare le loro coordinate geografiche (longitudine, latitudine ed altitudine) su un qualunque punto della superficie terrestre o dell'atmosfera con un errore di pochi metri, elaborando segnali a radiofrequenza trasmessi in linea ottica da tali satelliti. Attualmente le costellazioni in uso sono: GPS, Glonass, Galileo e Beidou.

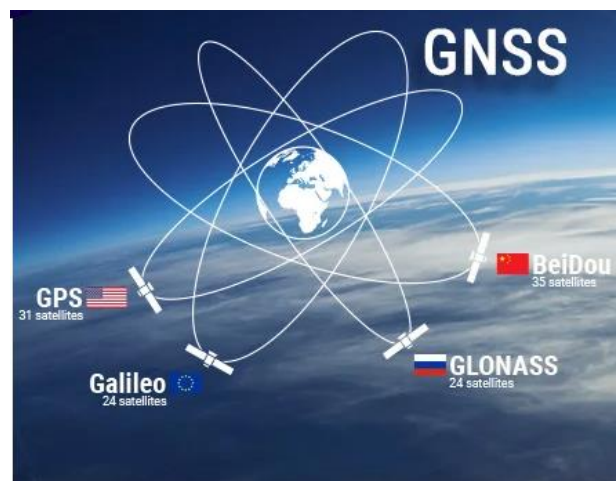


Figura 29 - GNSS

Ma il segnale satellitare è un dato affetto da un errore sistematico dovuto a rifrazione atmosferica, stima inesatta della posizione dei satelliti,

performance del ricevitore etc., che necessita di correzione, soprattutto per l'impiego nelle procedure di avvicinamento. Per rendere affidabile l'impiego di un sistema GNSS si adottano vari metodi per la rettifica dell'accuratezza.

I GNSS Augmentation systems sono: ABAS, SBAS, GBAS.

- ABAS (Aircraft Based Augmentation System): sistema di incremento dell'accuratezza a bordo. È un sistema che integra le informazioni ottenute dagli altri elementi del sistema di navigazione satellitare. La forma più comune di ABAS è il RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring);
- SBAS (Satellite Based Augmentation System): sistema di incremento dell'accuratezza basato su alcune stazioni di terra che conoscono con precisione la loro reale posizione e, mettendola in relazione con quella calcolata dai sistemi GNSS, possono calcolarne l'errore. In Europa il sistema SBAS utilizzato è l'EGNOS;
- GBAS (Ground-based augmentation system)

5.4.3 NAVIGATION APPLICATION

Le navigation application sono le procedure e le rotte che si possono realizzare in un determinato spazio aereo in funzione dei due elementi sopra menzionati: navigation specification e Navaid infrastructure.

Nav Capability	Indicator	Equipment	Nav Capability	Indicator	Equipment
RNAV 10 (RNP 10)	A1	RNAV 10 (RNP 10)	RNP 4	L1	RNP 4
RNAV 5	B1	all permitted sensors	Basic RNP 1	O1	all permitted sensors
	B2	GNSS	RNP APCH	O2	GNSS
	B3	DME/DME	RNP AR APCH	O3	DME/DME
	B4	VOR/DME		O4	DME/DME/IRU
	B5	INS OR IRS		S1	RNP APCH
	B6	LORAN		S2	RNP APCH with barometric vertical navigation
RNAV 2	C1	all permitted sensors		T1	RNP AR APCH with RF (authorization required)
	C2	GNSS		T2	RNP AR APCH without RF (authorization required)
	C3	DME/DME			
	C4	DME/DME/IRU			
RNAV 1	D1	all permitted sensors			
	D2	GNSS			
	D3	DME/DME			
	D4	DME/DME/IRU			

Tabella 4 - Navigation Application

5.4.4 TOTAL SYSTEM ERROR

Il valore del Total System Error – TSE, durante operazioni in RNAV rappresenta la probabilità (variabile Gaussiana⁶) che il sistema rimanga entro i limiti definiti dalla specifica di navigazione per almeno il 95% del tempo.

L'errore totale per una determinata specifica di navigazione (espresso dal designatore della specifica, ad esempio RNAV1 o RNP4, rappresenta la misura massima di quanto l'aereo può scostarsi dalla rotta prevista (distanza laterale e longitudinale espressa in miglia nautiche).

Il TSE è dato dalla somma di tre errori diversi:

$$\text{TSE} = \text{PDE} + \text{FTE} + \text{NSE}.$$

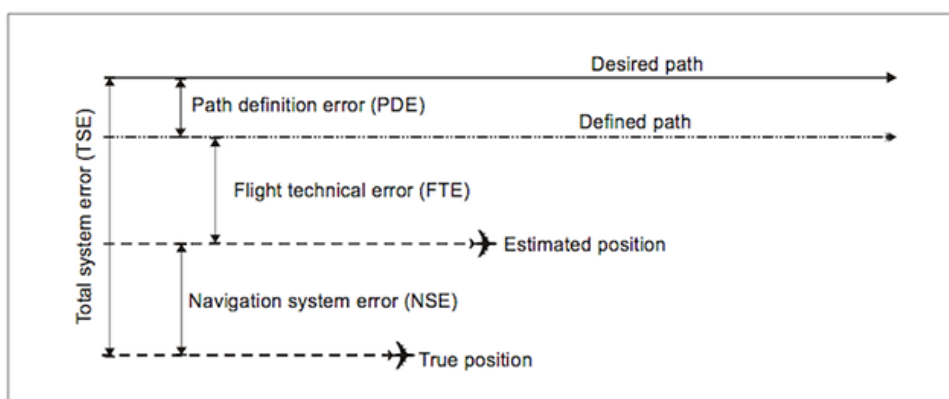


Figura 30 - Total system error

⁶ La distribuzione Gaussiana o normale nella teoria della probabilità, è una distribuzione di probabilità continua che è spesso usata come prima approssimazione per descrivere variabili casuali a valori reali che tendono a concentrarsi attorno a un singolo valor medio. Il grafico della funzione di densità di probabilità associata è simmetrico e ha una forma a campana, nota come "curva a campana", "curva normale", "curva gaussiana".

PDE – il Path Definition Error si riscontra quando il percorso definito/calcolato dal sistema non corrisponde a quello desiderato.

FTE – il Flight Technical Error si riferisce alla capacità dell'equipaggio di volo o dell'autopilota di seguire il percorso o la traccia definiti, inclusi eventuali errori di visualizzazione (errore di centratura dell'indicatore di deviazione della rotta CDI).

NSE – il Navigation System Error si riferisce alla differenza tra la posizione stimata dell'aeromobile e la posizione effettiva.

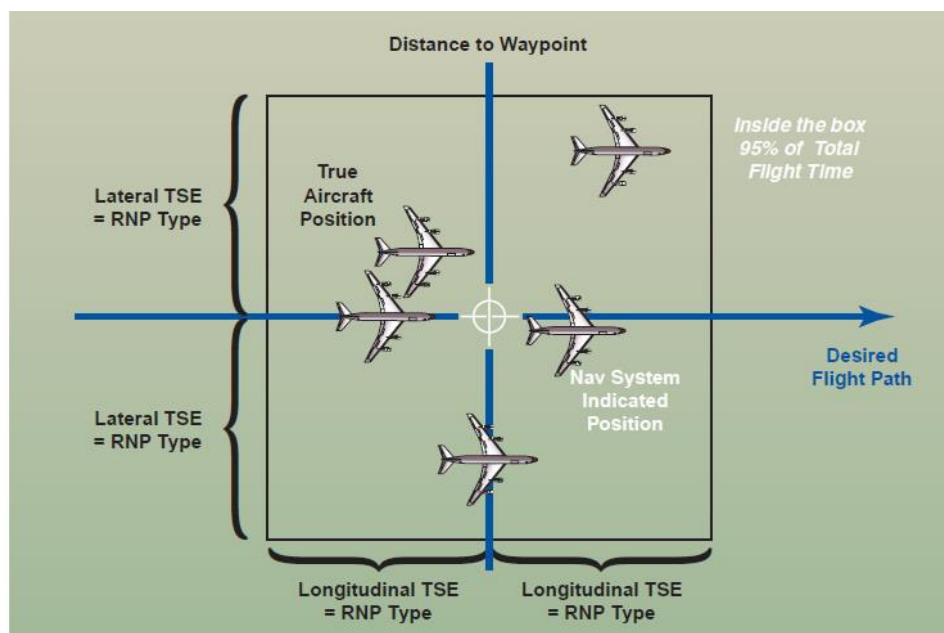


Figura 31 - TSE

Ad esempio, durante un'operazione RNAV-1 il TSE dovrà essere contenuto entro 1NM per il 95% del tempo.

Nelle operazioni RNP, invece, ci sono due requisiti di navigazione associati al TSE, ovvero:

- precisione: il valore del TSE deve mantenersi uguale o inferiore a $xRNP$ per il 95% del tempo di volo;
- integrità: la probabilità che il TSE dell'aeromobile superi $2xRNP$ senza annuncio di allarme è inferiore a 10^{-5} .

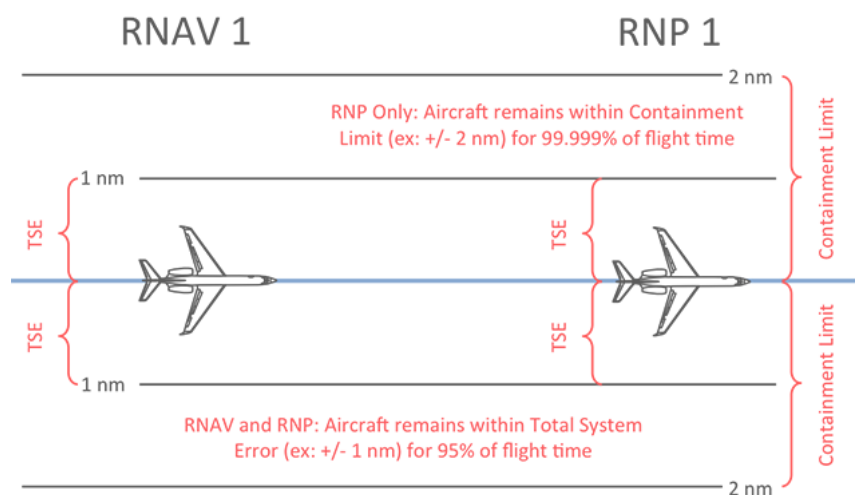


Figura 32 - Contenimento

Il sistema è considerato “adeguatamente contenuto” fintanto che la probabilità che l'aereo si trovi all'interno di un'area doppia rispetto al valore totale dell'errore di sistema almeno il 99,999% del tempo.

Così come enunciato dal DOC 9316, il concetto PBN specifica che i requisiti di prestazione del sistema RNAV dell'aeromobile devono essere definiti in termini di accuratezza, integrità, disponibilità, continuità e

funzionalità, che sono necessari per le operazioni proposte nel contesto di un particolare concetto di spazio aereo.

5.4.5 ANALISI DELLE NAVIGATION SPECIFICATION

Nella seguente tabella riepilogativa sono elencate le varie specifiche di navigazione e i relativi dettagli:

SPECIFICA DI NAVIGAZIONE	FASE DEL VOLO	AREA DI APPLICAZIONE	ACCURATEZZA A RICHIESTA	SISTEMA NECESSARIO	
RNAV 10	Operazioni in rotta	Oceanico/Remoto	+/- 10NM	GNSS/INS	
RNAV 5		Continentale	+/- 5NM	VOR/DME/GNSS/INS	
RNAV 2			+/- 2NM		
RNAV 1			+/- 1NM		
RNAV 2	Operazioni in Area Terminale o Regione di Controllo	Partenza/Arrivo	+/- 2NM	DME/GNSS	
RNAV 1			+/- 1NM	DMA/GNSS	
RNP 4	Operazioni in rotta	Oceanico/Remoto	+/- 4NM	GNSS	
RNP 2		Continentale basso/medio traffico	+/- 2NM		
A-RNP		Continentale	+/- 2NM – 1NM		
RNP 0.3			+/- 0.3NM		
RNP 1	Operazioni in Area Terminale o Regione di Controllo	Partenza/	+/- 1NM		
A-RNP		Arrivo/Avvicinamento	+/- 1NM		
RNP 0.3			+/- 0.3NM		
RNP APCH LNAV e LNAV-VNAV	Arrivo	Avvicinamento Finale	+/- 0.3NM		
A-RNP			+/- 0.3NM		
RNP APCH LP/LPV					
RNP AR					

Tabella 5 - Navigation Specification

Di seguito si dettagliano le singole specifiche di navigazione:

- RNAV 10: abitualmente utilizzata per la navigazione oceanica o in zone remote, la precisione richiesta è 10NM per almeno il 95% del tempo;
- RNAV 5: conosciuto come (Basic-RNAV) esso richiede una precisione minima nell'ordine dei +/- 5NM per 95% del tempo (non approvato per l'utilizzo sotto la MSA) ed è impiegato per la navigazione di rotta e terminale;
- RNAV 2: utilizzato per la fase di crociera, negli USA;
- RNAV 1: definito come P-RNAV (*Precision*), grazie al suo basso margine di errore viene utilizzato per volare tutte le rotte ATS, SIDs, STARS e fino al FAF di una procedura di avvicinamento strumentale;
- RNP 4: applicato durante fasi di volo in rotte oceaniche o remote dove la separazione longitudinale e laterale tra aeromobili richiesta è 30 NM;
- RNP 1: Applicato negli avvicinamenti, dal punto iniziale di avvicinamento (IAF) al punto finale di avvicinamento (FAF) e nelle partenze;
- RNP 0.3 utilizzato dagli elicotteri;
- RNP APCH: specifiche per la fase di avvicinamento.

Le tipologie di avvicinamento RNP APCH si possono suddividere in:

- LNAV (Lateral Navigation – 2D): avvicinamento non di precisione con la guida laterale fornita da un sistema GNSS ABAS mentre la guida verticale è gestita come un tradizionale avvicinamento di non precisione (es. VOR o NDB);
- LNAV/VNAV (Lateral Navigation/Vertical Navigation – 3D): avvicinamento non di precisione con guida verticale. La guida laterale è fornita da un sistema GNSS ABAS mentre la guida verticale è fornita dalla funzione Baro-VNAV dell'aeromobile;
- LPV (Localizer performance with vertical guidance – 3D): avvicinamento di precisione che utilizza i segnali GNSS SBAS sia per la guida laterale che per quella verticale; gli avvicinamenti ILS rimangono attualmente la categoria di avvicinamenti di precisione più utilizzata. Sebbene l'ILS non sia identificato come PBN, la costruzione di approcci ibridi utilizzando segmenti di radius to fix (RF) o track to fix (TF) di transizione al finale ILS è sempre più utilizzata.

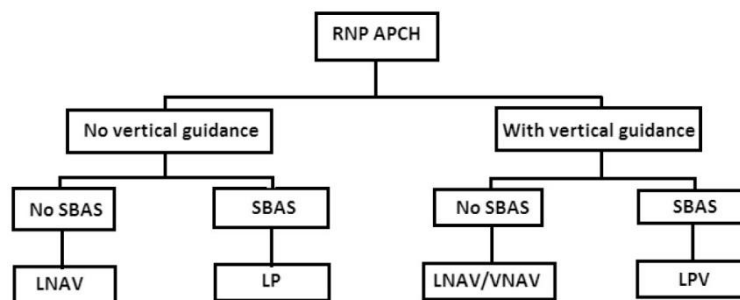


Figura 33 - RNP APCH

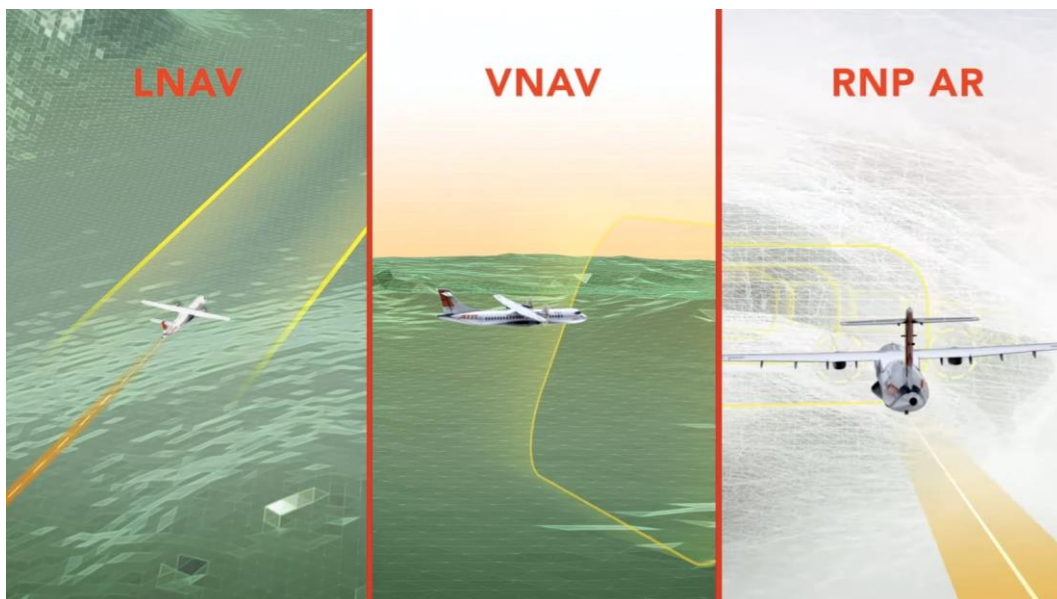


Figura 34 - Confronto RNP APCH

I requisiti RNP richiesti durante l'utilizzo delle procedure RNP APCH sono:

- RNP 1 per il segmento iniziale, intermedio e mancato avvicinamento;
- RNP 0.3 per il segmento finale;
- RNP 0.1 se la procedura associata è considerata RNP AR APCH (Authorization Required). Le operazioni RNP APCH Authorization Required (RNP AR APCH) sono operazioni APV con traiettoria finale curvilinea e/o RNP inferiori al valore standard di 0.3, associate a particolari situazioni orografiche e operative di un aeroporto. Offrono profili di volo ottimizzati e superfici di protezione dagli ostacoli ridotte 2RNP.

5.4.6 VANTAGGI DELLE PBN

La navigazione basata sulle prestazioni offre una serie di vantaggi rispetto alla navigazione basata sui sensori.

Il concetto di PBN è un potente strumento di progettazione dello spazio aereo per rotte e procedure: consente di collocare le rotte nella posizione strategicamente più vantaggiosa riducendo così la necessità di intervento ATC. Da questo ne derivano vantaggi in termini di capacità, sicurezza, efficienza del volo, ATM e mitigazione del rumore ambientale.

Infatti, l'elevata flessibilità nella progettazione di rotte e un più efficiente gestione ATM apportano vantaggi in termini di capacità dello spazio aereo.

La navigazione basata sulle prestazioni ha migliorato l'accuratezza e l'affidabilità della navigazione aerea, consentendo più facile accesso ad aeroporti remoti, caratterizzati da orografie particolari o difficilmente attrezzabili con radioaiuti. La maggiore accuratezza e affidabilità servono anche per strutturare le separazioni delle rotte aeree in modo più efficiente, ottenendo miglioramenti della sicurezza nelle operazioni in rotta e non solo nelle fasi di avvicinamento.

La maggiore affidabilità, ripetibilità e prevedibilità delle operazioni consentono, una maggiore efficienza nella gestione del flusso di traffico, senza intaccare i margini di sicurezza. Obiettivi simili sono stati raggiunti anche per altre funzionalità avanzate nella gestione del traffico aereo, come ad esempio il CDM (Collaborative Decision Making).

Le operazioni in PBN riducono i costi di installazione e manutenzione delle installazioni radio elettriche ubicate al suolo, apportando dunque vantaggi economici.

Non ultimo, ci sono notevoli vantaggi ambientali: le PBN con i profili di volo ottimizzati consentono un notevole risparmio di carburante con conseguenti benefici economici e tutela ambientale, viste le minori emissioni di CO₂. Volare una precisa traiettoria di volo significa ridurre le variazioni di potenza del motore, riducendo così le emissioni acustiche al fine di un sostanziale miglioramento della pressione acustica sull'area urbana, mantenendo inalterati gli standard di sicurezza.

5.4.7 PBN E NOISE MITIGATION

Nel 2020 la CANSO ha prodotto “Use of Performance-Based Navigation for Noise Management”.

Questa pubblicazione fornisce indicazioni e best practices sull'implementazione delle PBN, mettendo in evidenza le opportunità di mitigazione del rumore prodotto dagli aerei. L'obiettivo è gestire l'impatto del rumore sulle comunità locali, utilizzando come approccio di riduzione del rumore, le procedure di volo PBN.

Due concetti di prestazioni operative per la mitigazione del rumore che si coniugano perfettamente con la navigazione basata sulle prestazioni, sono le CDO e CCO.

Infatti, è possibile progettare procedure PBN, con definiti profili laterali e verticali che facilitino le Continuous Descent Operation e le Continuous Climb Operation.

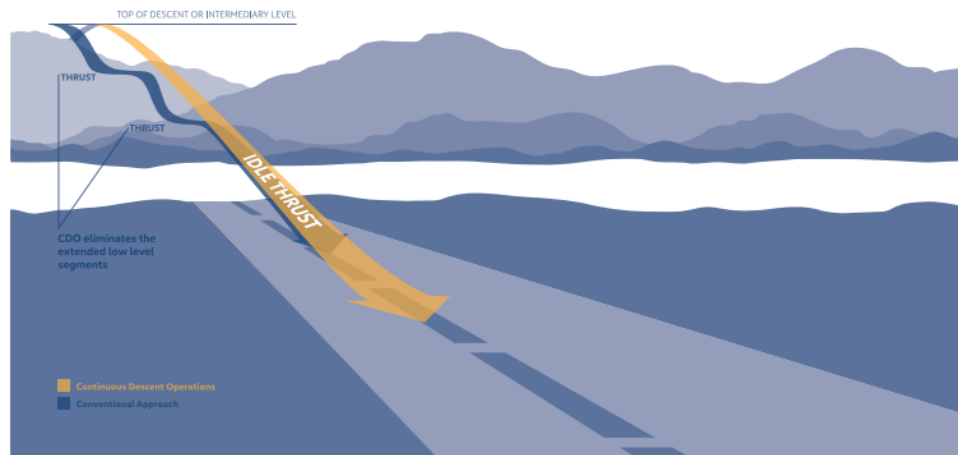


Figura 35 - CDA

Come già visto, il profilo di un continuous descent approach vede l'aeromobile rimanere a quote più elevate il più a lungo possibile e, una volta iniziata la discesa, evita il livellamento dell'aeromobile, riducendo la necessità di ricorrere ad una maggiore spinta. È stato dimostrato che il profilo delle CDO riduce il rumore degli aerei da 1 a 5 decibel.

In termini di abbattimento del rumore la categoria di PBN che più delle altre apporta benefici è quella delle RNP APCH, le quali, attraverso i sistemi di guida verticale, consentono rotte con profili ottimizzati. L'utilizzo del concetto PBN con l'impiego dei sistemi di navigazione GNSS sta rivoluzionando le procedure strumentali di avvicinamento.

Tali procedure di avvicinamento sono definite RNP APCH AR e per volarle l'aeromobile deve essere dotato di un sistema GNSS indipendente o multi sensore che comprenda almeno un GNSS potenziato (SBAS, ABAS, GBAS).

Le RNP APCH AR con l'utilizzo dei RF (Radius Fixed Leg), implementano la possibilità di effettuare procedure di avvicinamento con tratti curvilinei.

Uno studio condotto sull'aeroporto di San Francisco, circa l'implementazione della procedura RNP APCH AR associata ad una GLS (GBAS Landing System), ha evidenziato una marcata riduzione dell'area esposta al rumore, rispetto alle tradizionali procedure.

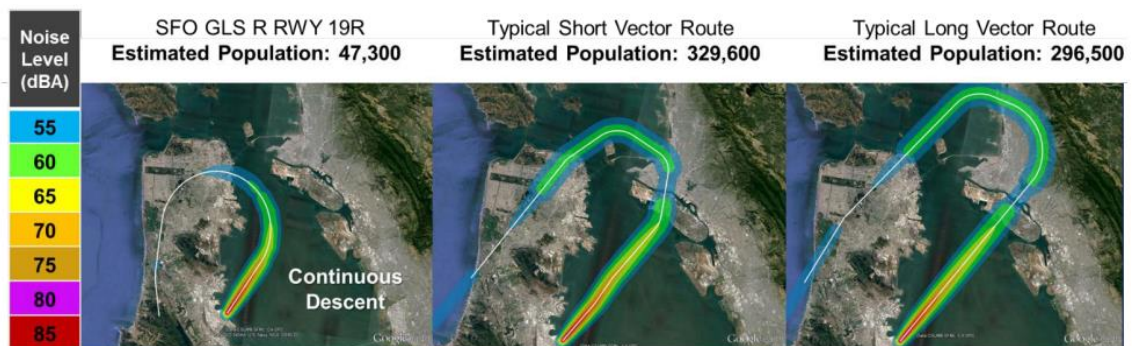


Figura 36 - RNP APCH AR

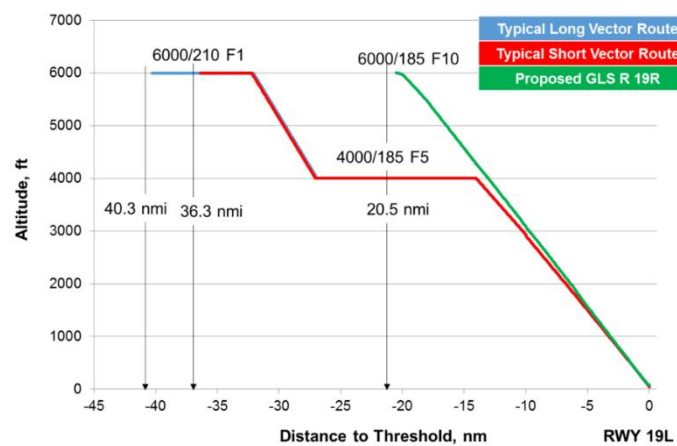


Figura 37 - Profilo CDA

Anche le continuous climb operation, con i loro profili ottimali di salita riducono le emissioni sonore.

Sfruttando l'accuratezza delle PBN e la loro intrinseca precisione, è possibile posizionare le rotte di partenza in modo strategico, così da evitare le aree densamente popolate (noise concentration).

Di seguito l'esempio di London Stansted in cui l'implementazione di una procedura di partenza RNP (RF) ha ridotto l'area esposta al rumore di circa l'85%.

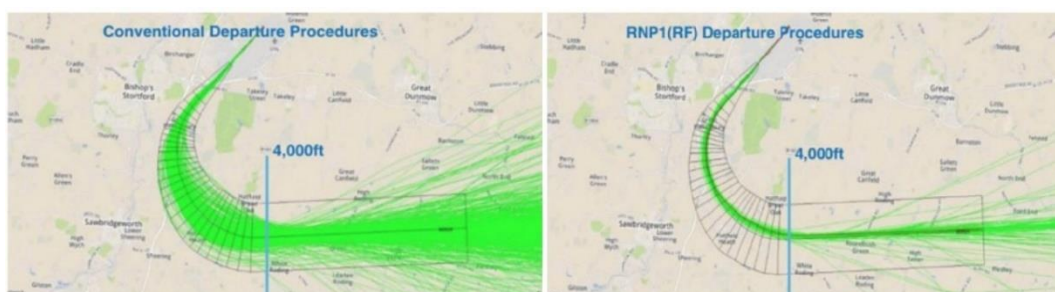


Figura 38 - Confronto impronta acustica

Tuttavia, a volte la notevole densità di popolazione o la collocazione particolare di un aeroporto non trovano beneficio dalla noise concentration; va quindi considerata la possibilità di utilizzare più rotte di partenza che consentono una diffusione dell'impronta acustica al suolo.

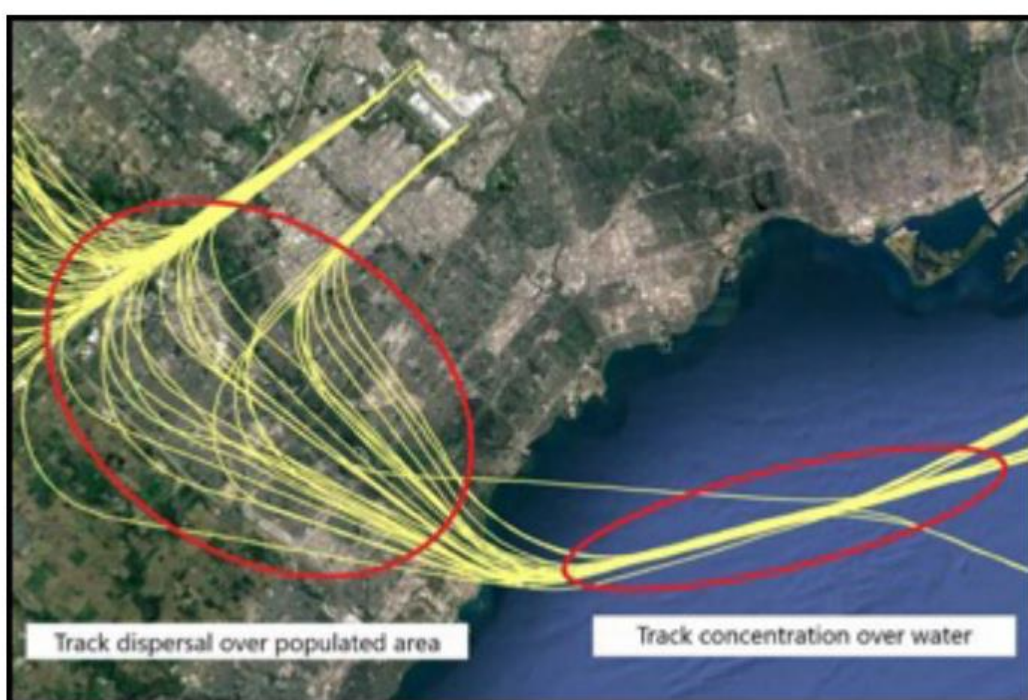


Figura 39 - Noise dispersion vs Noise concentration

Un altro esempio è quello dell'aeroporto di Napoli Capodichino, in cui è stata istituita una nuova procedura di salita iniziale per pista 24 allo scopo di diluire il rumore. La nuova Initial Climb Procedures dell'aeroporto di Napoli Capodichino per RWY06 è stata progettata al fine di ridurre l'impatto acustico su alcune aree dell'intorno aeroportuale.

Nel Novembre 2018 l'ICAO ha pubblicato lo standard Established on RNP-Authorization Required (EoR) con lo scopo di ridurre la separazione tra le piste parallele, il rumore, le emissioni, la distanza percorsa dai velivoli e ovviamente i costi, migliorando il flusso del traffico.

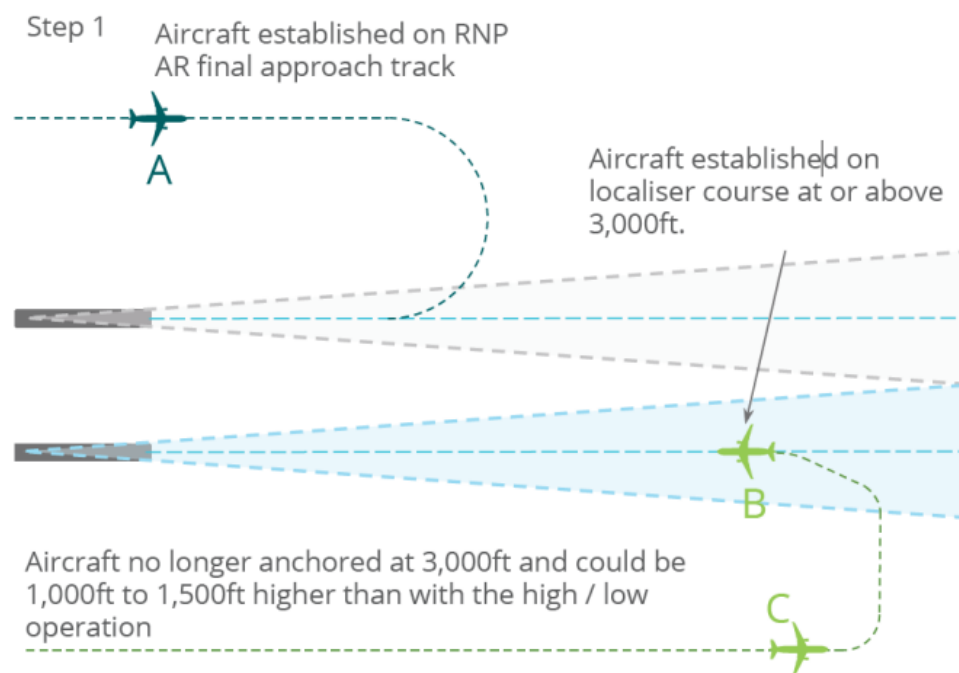


Figura 41 - Avvicinamenti piste parallele

6. CONCLUSIONI

Il disturbo derivante dal rumore prodotto dagli aerei è un problema complesso, in quanto non è legato solo a fattori oggettivi come la quantità (misurabile) del rumore, ma anche a fattori variabili e soggettivi del singolo individuo e alla sua percezione: la sensibilità al rumore, il ceto, la paura, l'età.

Le autorità affrontano tali problematiche nell'ambito di un approccio globale alla mitigazione dell'impatto acustico, così come già sottolineato dall'ICAO nella Guida all'Approccio Bilanciato.

Abbiamo visto come lo sviluppo delle tecnologie satellitari (GNSS) alla base della navigazione basata sulle prestazioni, abbia migliorato la precisione e l'affidabilità della navigazione aerea, offrendo la possibilità di progettare rotte che percorrano innovativi profili di volo verticali e laterali accurati.

I vantaggi oggettivi della maggiore efficienza e del minore impatto acustico offerto dalle PBN non sono sempre tangibili per le popolazioni residenti nelle adiacenze di aeroporti, in quanto il maggior numero di voli inficia la mitigazione del rumore fornita dalle procedure.

La versatilità delle PBN, dunque, non sempre può essere sufficiente. È d'importanza primaria invece, l'impegno da parte delle autorità ad una lungimirante pianificazione di sviluppo del territorio, che risulti coerente con le attività aeroportuali.

Bisognerebbe, inoltre, considerare un quinto pilastro dell'approccio bilanciato: il coinvolgimento della comunità. Infatti, è ampiamente

riconosciuto come l'aspetto più critico nella gestione dell'impatto del rumore sia legato proprio allo stato d'animo delle comunità locali. Un dialogo con le comunità interessate, coinvolte nelle fasi di progettazione delle rotte e nelle fasi decisionali, risulterà quanto mai costruttivo per l'adozione di ogni possibile azione mitigatrice.

Non è difficile comprendere come il posizionamento di rotte nelle vicinanze di un aeroporto (SIDS/STAR) è, per le comunità limitrofe, una questione sociale molto controversa.

Operativamente, la libertà fornita al progettista dello spazio aereo dalle PBN in base alla quale le rotte possono essere posizionate ovunque, è in realtà una libertà limitata. Il peso delle comunità residenti nei dintorni aeroportuali e le pressioni ambientali fanno sì che il posizionamento delle rotte stia diventando sempre più una questione politica, a volte a discapito del beneficio operativo.

La soluzione, come spesso accade, è una scelta di compromesso nel bilanciare, da un lato l'efficienza e lo sviluppo dell'infrastruttura, e dell'altro il contenimento della rumorosità.

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- CANSO - *Use of Performance Based Navigation (PBN) fon Noise Management.*
- DE ANGELIS G. et al. - *Il rumore aeroportuale e la valutazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.*
- EASA - *Certification Specification 36, Aircraft Noise.*
- ENAC - *PBN Implementation Plan Italy.*
- ICAO 9911 - *Recommended Method for Computing Noise Contours around Airport.*
- ICAO Annex 16. Vol. I- *Environmental Protection.*
- ICAO DOC - 9510 Vol. I - *Environmental Technical Manual.*
- ICAO DOC - 9829 - *Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management.*
- ICAO DOC 9613 - *Performance Based Navigation.*
- MORRIS KEVIN (ADS/ICCAIA) - *Operational Opportunities to Reduce Aircraft Noise.*
- <https://www.assoclearance.it>
- <https://www.enac.gov.it>
- <https://learningzone.eurocontrol.int>