



INFORMATIVA TECNICA

LINEE GUIDA RELATIVE AD INTERVENTI PER MINIMIZZARE L'USO DI COMBUSTIBILE E RIDURRE LE EMISSIONI GASSOSE

DIREZIONE POLITICHE DI SICUREZZA E AMBIENTALI

Edizione n° 1 del 20/4/2009



PRESENTAZIONE

Il Protocollo di Kyoto, adottato nel 1997 nell'ambito dell'United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), ha impegnato le nazioni industrializzate a ridurre, nel periodo 2008-2012, la produzione di emissioni gassose del 5%, rispetto ai valori del 1990; l'aviazione non è stata inclusa tra i settori considerati.

I paesi industrializzati, comunque, si sono impegnati a perseguire gli obiettivi di limitare o ridurre le emissioni a gas serra (CO₂) per il trasporto aereo attraverso l'ICAO.

Nel febbraio 2004, l'ICAO ha pubblicato la circolare 303 AN/176 diretta agli Stati ed agli stakeholders interessati, con l'obiettivo di raccomandare le varie opportunità operative e le esistenti tecniche disponibili per minimizzare il consumo di combustibile, e quindi le emissioni, nelle operazioni dell'aviazione civile.

La circolare è stata predisposta dal Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP) dell'ICAO che opera, in materia di emissioni gassose, su mandato dell' UNFCCC. In tale circolare il CAEP ha anche tenuto in conto quanto contenuto nello Special Report prodotto annualmente dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) che già nel 1999 evidenziava, per gli aspetti relativi al trasporto aereo, i benefici ambientali ottenibili introducendo adeguate misure operative nel sistema dell'Air Traffic Management (ATM) inteso *gate to gate* e nel sistema aeroportuale.

Il sistema aviazione a livello aeroportuale, può influenzare l'ambiente anche con il contributo dell'ossido di azoto (NO_x), dell'HC e delle polveri sottili (PM10 e PM 2.5); vanno considerati, inoltre, anche i contributi dovuti al traffico veicolare e ad altre sorgenti presenti in aeroporto.

Tenuto conto che una tonnellata di combustibile consumato equivale a 3,16 tonnellate di CO₂, l'attenzione del CAEP si è rivolta in prima battuta a ridurre la produzione di anidride carbonica individuando le misure che comportano la riduzione del combustibile bruciato (efficiency fuel)

Con la circolare 303 l'ICAO ha individuato un pacchetto di possibili misure operative mirate alle operazioni di volo e di terra che potrebbe globalmente ridurre il consumo di combustibile del 8 -18 %.

INDICE

1. SCOPO	4
2. PUBBLICAZIONI ICAO DI RIFERIMENTO	4
3. LINEE GENERALI	5
4. OPERAZIONI IN AEROPORTO	7
4.1 Configurazione aeroportuale ed equipaggiamenti	7
4.2 Trasporto di terra	11
4.3 Operazioni di volo	12
4.4 Conclusioni	14
5. MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI AMBIENTALI DEGLI AEROMOBILI	14
5.1 Manutenzione	15
5.2 Corsa a terra	23
5.3 Conclusioni	24
6. RIDUZIONE DELLA MASSA	24
6.1 Peso a vuoto	25
6.2 Centro di gravità	26
6.3 Rifornimento combustibile	26
6.4 Conclusioni	27
7. PIANIFICAZIONE DEL VOLO	27
7.1 Rotte	27
7.2 Previsioni del tempo	28
7.3 Punto di congelamento del combustibile	28
7.4 Calcolo del combustibile	29
7.5 Limitazioni dovute al rumore	30
7.6 Decollo e salita	30
7.7 Crociera	31
7.8 Gestione degli impianti di bordo	31
7.9 Discesa ed atterraggio	32
7.10 Fattore di carico	33
7.11 Voli non commerciali	33
7.12 Conclusioni	34
8. GESTIONE DEL TRAFFICO AEREO	34
8.1 Introduzione	34
8.2 Limitazioni del sistema ATM	35
8.3 Opportunità di intervento sul sistema ATM	36
8.4 Nuovi concetti e tecnologie	37
8.5 Conclusioni	40
9. IMPLEMENTAZIONE	40



Informativa Tecnica

Linee guida relative ad interventi per minimizzare l'uso di carburante e ridurre le emissioni gassose

Ed. 1

pag. 4 di 4

1. SCOPO

Il presente documento, basato sulla circolare 303 AN/176 dell'ICAO, fornisce le linee guida per identificare ed attuare possibili misure operative e tecniche in grado di minimizzare il consumo di combustibile, e quindi le emissioni gassose, imputabili al sistema aviazione civile.

L'intenzione è di ottenere benefici ambientali da:

- un più "fuel efficient" impiego degli aeromobili durante le operazioni a terra ed in volo;
- adeguati miglioramenti delle infrastrutture dell'aeroporto;
- adeguati miglioramenti tecnologici ed operativi del sistema ATM

L'Informativa è diretta agli stakeholders con la raccomandazione di un pacchetto di possibili misure operative e tecniche per favorire la riduzione dell'impatto del trasporto aereo sull'atmosfera e sulla qualità dell'aria locale. La scelta delle opportune misure dovrebbe avvenire in modo integrato e coordinato tra le parti interessate e con un approccio equilibrato, tenendo conto di considerazioni di sicurezza, delle caratteristiche dell'aeroporto, del livello di inquinamento esistente e del potenziale impatto che la misura specifica potrebbe avere sull'operatività dell'aeroporto e del sistema ATM.

2. PUBBLICAZIONI ICAO DI RIFERIMENTO

- a. Operational Opportunities to Minimize Fuel Use and Reduce Emissions (Cir. 303)
- b. Report of the Committee on Aviation Environmental Protection, Seventh Meeting (Doc 9886)
- c. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation Environmental Protection Volume II Aircraft Engine Emissions
- d. Independent Experts NOx Review and the Establishment of Medium and Long Term Technology Goals for NOx (Doc 9887)
- e. Airport Air Quality Guidance Doc 9889 Procedures for Air Navigation Services — Aircraft Operations (OPS) (Doc 8168)
- f. ICAO Circular on NADP Noise and Emissions Effects
- g. ICAO Airport Planning Manual Parte 2^A - Land Use and Environmental Control (DOC 9184)
- h. ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank (Doc. 9646) ICAO Carbon Emission Calculation

Ulteriori riferimenti possono essere trovati sul sito www.icao.int dossier Environment

3. LINEE GENERALI

La definizione di una politica ambientale - ossia un quadro di riferimento in base al quale impostare le attività e definire gli obiettivi ambientali – dovrebbe costituire un impegno che ogni azienda assume nei confronti della salvaguardia dell'ambiente.

L'adozione nel sistema aviazione nazionale di un approccio integrato e sistematico determinerà un sicuro miglioramento delle prestazioni ambientali.

Per ragioni economiche e di efficienza, l'industria dell'aviazione ha già sviluppato e perfezionato molte tecniche per minimizzare l'uso di combustibile.

Un contributo notevole deriva, in particolare, da misure operative adottate in ambito aeroportuale. L'aeromobile, infatti, è responsabile solo della metà delle emissioni prodotte su un aeroporto; il rimanente è da attribuirsi al trasporto a terra ed al ground support equipment (GSE). Il consumo di combustibile nelle operazioni a terra dipende dalla configurazione dell'aeroporto e da una varietà di fattori.

Molte delle misure operative individuate richiedono cooperazione tra gli stakeholders, ognuno dei quali dovrebbe mirare all'adozione di procedure e best practices che assicurino l'efficacia delle operazioni ai fini del risparmio combustibile.

Anche i costruttori aeronautici possono contribuire, fornendo agli operatori gli strumenti e le informazioni necessarie per il miglior impiego ambientale dei loro aeromobili.

In sintesi le misure possibili sono:

- Ottimizzare il sistema ATM sia con interventi tecnologici che operativi
- Impiegare il tipo di aeromobile a più basso consumo per l'area prevista delle operazioni
- Pianificare il volo ottimizzando il consumo
- Migliorare al massimo l'efficienza degli aeromobili
- Minimizzare il numero di voli non-commerciali delle compagnie aeree
- Diminuire i tempi di percorrenza e di attesa nelle operazioni di terra
- Utilizzo dei sistemi di traino a terra degli aeromobili
- Uso di mezzi di movimentazione aeroportuale ad energia alternativa
- Uso di ground support equipment di tipo adeguato



Informativa Tecnica

Linee guida relative ad interventi per minimizzare l'uso di carburante e ridurre le emissioni gassose

Ed. 1

pag. 6 di 6

Ad alcuni interventi può corrispondere solo una piccola percentuale di risparmio combustibile. Ad esempio la riduzione del peso dell'aeromobile contribuisce del 1%, tuttavia, su base globale, l'un per cento di risparmio diventa una quantità significativa. Pertanto, specie sui voli a lungo raggio è importante non trasportare combustibile in eccesso (compatibilmente con le vigenti regolamentazioni operative di sicurezza) e ridurre al massimo il carico superfluo.

Un corretto programma di manutenzione è da considerarsi essenziale per la riduzione di combustibile. Interventi di manutenzione che possono sembrare poco significativi contribuiscono a risparmiare un sostanziale quantitativo di combustibile, come si vedrà in seguito.

Un fattore da tenere in conto nell'adottare misure operative attinenti il sistema ATM è il trade-off tra rumore ed emissioni gassose. Tecniche operative sviluppate dai costruttori aeronautici per la definizione delle procedure di abbattimento rumore degli aeromobili tendono ad aumentare il consumo di combustibile. Il CAEP ha effettuato uno studio in proposito da cui è emersa l'esigenza di lavorare, nel prosieguo, mantenendo un approccio equilibrato tra rumore ed emissioni gassose. Il Continuous Descent Approach (CDA) è un buon esempio di questa nuova impostazione.

In conclusione qualsiasi modifica allo scenario di traffico esistente su un aeroporto (procedure operative, rotte, numero di movimenti di traffico, distribuzione del traffico sulle rotte, ecc) deve essere preventivamente valutata, tenendo conto di un corretto compromesso tra riduzione rumore ed emissioni gassose.

Nel corso dell'anno il CAEP approverà una metodologia per valutare i benefici ambientali derivanti dall'implementazione nel sistema ATM di modifiche, nuovi piani, nuovi programmi.

Ciò consentirà una pianificazione costo/efficacia degli interventi per migliorare la capacità dello spazio aereo nazionale e degli aeroporti.

Metodologie di valutazione dell'impatto del rumore e delle emissioni gassose conseguente a modifiche del sistema ATM sono già utilizzate in Canada, UK, e Paesi Scandinavi.

Un approccio nuovo per affrontare il tema ambientale si sta largamente diffondendo anche tra le aziende del settore aviazione ed è la gestione ambientale.

Già da tempo, l'esigenza di affrontare in modo strutturato le tematiche ambientali nei vari settori industriali ha portato alla definizione del concetto di gestione ambientale "integrata" delle aziende produttive e di servizio, ossia al loro rapporto con l'ambiente non più in funzione

dell'inquinamento dei singoli comparti (emissioni gassose, produzione rifiuti, ecc.) ma attuando una politica ambientale che coinvolga globalmente tutti gli aspetti.

Questo nuovo orientamento trova ampia attuazione nella diffusione crescente tra le aziende aeronautiche dei Sistemi di Gestione Ambientale secondo la norma internazionale ISO 14001 e il Regolamento comunitario N. 761/2001 del 19 marzo 2001 "sull' adesione volontaria delle organizzazioni a un sistema comunitario di ecogestione e audit (EMAS)"

Il CAEP ha invitato gli Stati membri dell'ICAO a promuovere lo sviluppo del sistema di gestione ambientale nel settore dell' aviazione.

4. OPERAZIONI IN AEROPORTO

Questo capitolo illustra le misure operative che possono essere adottate per minimizzare l'uso di combustibile e ridurre le emissioni gassose nello svolgimento delle attività in aeroporto.

L' ICAO ha pubblicato l'Airport Planning Manual Parte 2[^] - Land Use and Environmental Control (DOC 9184) che fornisce alcune specifiche indicazioni per il miglioramento dell'efficiency fuel e la riduzione delle emissioni gassose.

4.1 Configurazione aeroportuale ed equipaggiamenti

La prima opportunità si presenta in fase di progettazione iniziale dell'aeroporto o quando si sviluppano ampliamenti e modifiche.

Le possibilità riguardano sia il land-side che l'air-side e quindi il layout dell'aeroporto, l'allocazione dei gates, gli impianti, il ground support equipment (GSE).

Il termine *ground support equipment* (GSE) è riferito all'ampia categoria di veicoli ed equipaggiamenti al servizio degli aeromobili inclusi quelli per il traino, per la manutenzione, per la fornitura dell'energia elettrica, per la movimentazione dei passeggeri, per il rifornimento combustibile, per il de-icing degli aeromobili, ecc. Opportune misure adottate per il GSE possono determinare significative riduzioni di emissioni.

I tipi più comuni di GSE sono:

a) *Trattori*: usati per:

1. push-back dell'aeromobile;
2. riposizionare l'aeromobile;
3. per movimentare l'aeromobile in manutenzione
4. trasportare bagagli

I trattori senza barra sono molto più agili perché usano il peso dell'aereo per aumentare la trazione e quindi consumano molto meno combustibile.

- b) *Mezzi destinati al carico e scarico bagagli*
- c) *Unità di condizionamento*: forniscono aria pre-condizionata agli aerei fermi al gate ed anche durante le operazioni di manutenzione. Si sta diffondendo l'uso ai gates di compressori alimentati elettricamente per fornire aria pre-condizionata.
- d) *Air-start units*: si usano in genere solo quando un aereo non è dotato di un'unità di potenza ausiliare (APU), o l'APU non è operativo.
- e) *Mezzi per lo sghiacciamento aeromobili*: usati per trasportare il fluido anti ghiaccio e spruzzarlo sull'aereo.
- f) *Lavatory service trucks and carts*: i "lavatory trucks" sono unità a propulsione autonoma usati per il ricambio dei fluidi nei servizi igienici dell'aereo. Sono usati anche i "lavatory carts" che non sono a propulsione autonoma ma hanno piccoli motori per potenziare e motorizzare le pompe che trasferiscono i fluidi.
- g) *Mezzi elevatori*: Questa vasta categoria include elevatori, ascensori e caricatori che permettono l'accesso all'aereo per le attività di servizio e assistenza sia la terminal che durante la manutenzione.
- h) *Ground Power Units (GPU)* Forniscono potenze elettriche di 400 Hz all'aereo quando l'APU e i motori principali non stanno operando. Le linee aeree preferiscono l'uso del GPU perché ha costi senz'altro più bassi.
- i) *Mezzi trasporto passeggeri*.

Le Tabelle 4.1 e 4.2 riportano gli interventi che possono essere adottati sulla configurazione aeroportuale e sugli equipaggiamenti.

**Tabella 4.1 Misure per minimizzare l'uso di combustibile e ridurre le emissioni gassose
in aeroporto**

Area di intervento	Tipo di intervento	Emissioni ridotte	Effetti
Layout	Ottimizzazione del layout pista, taxiway ed apron. Numero piste adeguato alla capacità aeroportuale	Tutte	Minimizza la congestione del traffico ed i tempi di taxiing Riduce i ritardi
Infrastrutture	Fornire aria pre-condizionata e una potenza di 400 Hz ai gates ed alle aree di manutenzione Installare un sistema di guida e controllo in superficie	Tutte	Riduce o elimina l'APU, GPU e unità di condizionamento. Realizza risparmio di combustibile e manutenzione, anche se richiede investimenti sostanziali Riduce la congestione ed i ritardi in condizioni di cattivo tempo
Operazioni	Miglioramenti nella pianificazione dei voli	Tutte	Riduce la congestione ed i ritardi in condizioni di cattivo tempo

Nota: le emissioni considerate comprendono: ossidi di azoto NO_x, ossido di zolfo SO_x, polvere sottili PM-10, idrocarburi HC, monossido di carbonio CO e anidride carbonica CO₂.

**Tabella 4.2 Misure relative ai GSE per minimizzare l'uso di combustibile e ridurre le
emissioni gassose**

Misura Operativa	Tipo di intervento	Emissioni ridotte	Effetti
Modifica nelle operazioni di GSE	Riduzione delle distanze percorse Non mantenere i motori dei mezzi accesi se non necessario.	Tutte	Difficoltà nel predire la riduzione
Retrofit dei motori impiegati in GSE	Interventi di retrofit disponibili sul mercato sui motori a combustione	CO, HC, PM ed altre	Sostanziali riduzioni fino al 80-90% in funzione dell'intervento adottato
Sostituzione dei motori impiegati in GSE	Sostituzione dei motori installati con motori a tecnologie più avanzate	Tutte	
Uso di carburanti alternativi	Retrofit o sostituzione dei motori a combustione con motori riforniti con gas naturali compressi o liquidi (CNG) Sostituzione con motori elettrici	NO _x HC ,CO, PM Tutte	Sostanziali riduzioni fino al 90-95% in funzione dell'intervento adottato Riduzione fino al 100%

Nota: le emissioni considerate comprendono: ossidi di azoto NO_x, ossido di zolfo SO_x, polveri sottili PM-10, idrocarburi HC, monossido di carbonio CO e anidride carbonica CO₂.

Le misure illustrate non sono esaustive, ulteriori soluzioni possono essere individuate per ottenere sempre maggiori benefici ambientali.

La scelta più appropriata è funzione delle caratteristiche dell'aeroporto e di un'analisi costi/benefici.

I costi per le modifiche operative variano ampiamente a seconda delle soluzioni prese in considerazione. E' bene che nell'analisi dei costi siano presi in esame anche quelli relativi alla manutenzione dei sistemi ed alle modifiche delle infrastrutture che si rendono necessarie.

Nel caso di utilizzo di energie alternative - esempio il gas naturale compresso (CNG) o i sistemi elettrici - i costi di installazione sono, indubbiamente, sostanziali ed una analisi dei costi/benefici aiuterà ad effettuare la scelta.

Nel caso di motori che usano l'esistente rete di distribuzione del combustibile, essi possono essere retrofittati o rimpiazzati con nuove tecnologie senza costi aggiuntivi per le infrastrutture. Si evidenzia che questi interventi possono arrivare a realizzare un 90% o più di riduzione nel HC e NO_x.

4.2 Trasporto di terra

A seconda dell'ampiezza e della capacità ricettiva, un aeroporto rappresenta la destinazione di un grande numero di veicoli associati alle sue attività. Riducendo il numero totale di chilometri percorsi dai veicoli che si muovono da e per un aeroporto e nell'aeroporto, le emissioni derivanti dal trasporto a terra possono avere riduzioni sostanziali.

L'adozione delle opportune misure dovrebbe essere focalizzata sulla riduzione, per quanto possibile, dei chilometri percorsi dai veicoli usati:

- a) Dal personale delle compagnie aeree, gestori aeroportuali, enti, istituzioni e organizzazioni operanti in aeroporto
- b) Per il trasporto passeggeri e merci

Le misure adottabili sono necessariamente legate alle situazioni contingenti ed alla sensibilità alle tematiche ambientali esistente sul territorio.

L'esperienza acquisita in molti Paesi ha dimostrato che possono essere adottate con successo iniziative efficaci anche in collaborazione con le istituzioni locali, ottenendo ottimi risultati.

Si forniscono alcuni esempi: adozione di percorsi preferenziali per favorire l'occupazione multipla delle auto da parte del personale aeroportuale, aumento delle tariffe di parcheggio, aumento delle aree di parcheggio di lunga sosta, impiego di mezzi pubblici (bus, taxi ecc) ad

emissione zero per raggiungere l'aeroporto, veicoli per la movimentazione passeggeri in aeroporto a zero emissione, e così via.

Un contributo certo all'ambiente deriva dalla realizzazione o dal miglioramento del trasporto ferroviario o l'adozione di interventi per limitare la circolazione sul sistema stradale interno al sedime aeroportuale di veicoli che devono accedere ai terminali

Tenuto conto della forte incidenza del trasporto a terra collegato agli aeroporti, vanno presi in considerazione tutti i possibili sistemi per intervenire su questo segmento di attività.

4.3 Operazioni di volo

Molte tecniche di volo sviluppate dai costruttori aeronautici e/o procedure antirumore adottate sugli aeroporti per limitare il rumore nell'intorno aeroportuale tendono ad aumentare il consumo di combustibile e perciò avere un effetto negativo sulle emissioni e quindi sull'ambiente.

Qualsiasi modifica allo scenario di traffico esistente su un aeroporto (procedure operative, rotte, numero di movimenti di traffico, distribuzione del traffico sulle rotte, ecc) deve essere preventivamente valutata, tenendo conto di un corretto compromesso tra riduzione rumore ed emissioni gassose.

E' difficile fare una stima percentuale a priori della riduzione di combustibile ottenibile da interventi che riguardano modifiche alle procedure operative di atterraggio e decollo o da misure adottabili dal pilota durante le operazioni di volo (Tab. 4.3).

Nella Tabella 4.3 sono riportate alcune considerazioni su interventi che interessano le operazioni di volo.

Tabella 4.3 Misure relative alle operazioni di volo

Misura Operativa	Tipo di intervento	Emissioni ridotte	Effetti
Modifiche allo scenario di traffico	Adozione di nuova procedura abbattimento rumore	Tutte	Può incrementare le distanze orizzontali percorse e causare un aumento del consumo
	Divieti di volo in determinate fasce orarie		Congestione di traffico in altre fasce orarie, ritardi ed attese in holding
	Uso di piste preferenziali		Aumento del tempo di volo e di taxi
Azioni discrezionali del pilota	Minimizzare l'uso del reverser in atterraggio	NO _x HC può aumentare	Sostanziale riduzione, maggiore attenzione in termini di safety
	Fase di taxiing con engine-out su approvazione dell'autorità	CO ₂ , HC e CO	
Altre procedure	Riduzione dei tempi di permanenza del motore al minimo	HC, CO	minore tempo di impiego del motore
	Traino aeromobile	Tutte	Minor uso del motore, maggiore attenzione in termini di safety

Nota: le emissioni considerate comprendono: ossidi di azoto NO_x, ossido di zolfo SO_x, polveri sottili PM-10, idrocarburi HC, monossido di carbonio CO e anidride carbonica CO₂.

4.4 Conclusioni

L'identificazione e la scelta del pacchetto di misure appropriate per un determinato aeroporto, che comportano interventi sia a terra che in volo, va valutata in funzione delle esigenze e delle reali possibilità di azione. Ciò significa che per ogni aeroporto la scelta va fatta con un approccio integrato e condiviso con tutte le componenti interessate, ivi incluso le autorità territoriali competenti

Da una verifica su scala mondiale è emerso che l'adozione di appropriate misure operative comporta per l'aeroporto consistenti benefici ambientali, riduzione dei costi operativi e miglioramento dell'efficienza dell'aeroporto, tanto da compensare gli investimenti di capitale avvenuti.

5. MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI AMBIENTALI DEGLI AEROMOBILI

I miglioramenti ottenuti dall'industria dell'aviazione negli ultimi anni sono stati considerevoli e gli sforzi per un ulteriore progresso continuano. In più di quaranta anni di attività, gli aerei hanno migliorato la loro fuel efficiency del 70 %, fornendo prestazioni tecnico-operative ed ambientali sempre più avanzate. La configurazione aerodinamica ed il motore incidono in modo fondamentale sul consumo di combustibile, quindi sono oggetto di studio per lo sviluppo di nuove tecnologie. Purtroppo le opportunità di ottenere ulteriori risultati diminuiscono. I rappresentanti dei costruttori in seno al CAEP hanno chiaramente dichiarato che poche sono le possibilità di ottenere ulteriori progressi in quanto vi sono:

- difficoltà a trasferire in produzione la nuova tecnologia studiata per ridurre NO_x,
- incertezza dei fondi per la ricerca,
- difficoltà di ottenere ulteriori risultati a costi ragionevoli.

Il processo di introduzione di una nuova tecnologia prevede due fasi; la prima consiste nello sviluppare il concetto tecnologico dando dimostrazione della sua applicabilità in un ambiente reale; la seconda è quella di trasferire il concetto dalla fase di dimostrazione ad un prodotto concreto con rischi accettabili. In passato un ciclo di sviluppo di un motore durava diversi anni, oggi il tempo disponibile per progettare e costruire il primo motore certificato è ridotto a 12 - 16 mesi. Ciò non è sufficiente: la richiesta di nuovi prodotti a prestazioni ambientali sempre più avanzate parte già dal momento dell'inizio della produzione del nuovo velivolo.

In conclusione, continuare a perseguire l'innovazione tecnologica presenta difficoltà, occorre affrontare il problema con approcci innovativi.

In realtà vi è ancora margine per il miglioramento delle prestazioni ambientali degli aeromobili.

La crescita futura del trasporto aereo ha bisogno di essere pianificata con maggiore responsabilità ambientale da parte di tutti i soggetti coinvolti. La maggior parte dei velivoli esistenti ed in produzione installano un'avionica di bordo ed un sistema di automazione del flight deck decisamente avanzati che potrebbero essere utilizzati a vantaggio della capacità ed efficienza ambientale del sistema di gestione del traffico aereo. Gli operatori aerei possono responsabilmente contribuire con soluzioni operative ad un impiego sostenibile della loro flotta. Infine gli stessi aeroporti hanno la possibilità di adottare soluzioni, in stretto collegamento con le istituzioni, per partecipare alla sfida di aumentare i benefici ambientali.

5.1 Manutenzione

Il consumo di combustibile di un aeromobile dipende da molti fattori tra cui le sue caratteristiche, il modo in cui è impiegato e come viene mantenuto. Più immediato è associare un aumento del consumo alle prestazioni del motore, ma va sottolineato che aumenti del consumo di combustibile sono anche causati dall'aumento della resistenza aerodinamica del velivolo durante il volo. Ciò comporta fare attenzione a quelle situazioni (es. presenza sulle superfici della cellula di sporcizia, ammaccature, sporgenze, graffi) che possono essere accuratamente eliminate con interventi di manutenzione e che aumentano considerevolmente la resistenza aerodinamica.

In questo paragrafo si prendono in esame gli interventi di manutenzione per evitare

1. il degrado aerodinamico della cellula
2. il degrado delle prestazioni del motore

Nelle Tabelle seguenti si riportano esempi di aumento nel consumo di combustibile dovuto al degrado di superfici e/o componenti di un A300 con un volato annuo di 3500 ore, con una media di 1000 miglia nautiche percorse.

Per tale analisi, l'aereo viene suddiviso in tre zone:

- I. ZONA 1 – *ad alta sensibilità aerodinamica*-quale, ad esempio, la parte anteriore della fusoliera, determinate parti delle superfici alari, le superfici degli stabilizzatori verticali e orizzontali, fino al timone ed agli elevatori.

Le modifiche del profilo aerodinamico possono produrre significativi aumenti di resistenza aerodinamica.

- II. ZONA 2 – a buona sensibilità aerodinamica -questa zona comprende la parte centrale della fusoliera, le superfici delle ali, della coda e dei motori non inclusi in Zona 1.
- III. ZONA 3 - a normale sensibilità aerodinamica-questa zona comprende la parte posteriore della fusoliera. Il degrado della superficie comporta l'aumento del consumo di combustibile, ma con valori meno significativi.

Porte

Dovrebbe essere posta grande attenzione alla regolazione ed alla tenuta delle porte in quanto si può andar incontro a sostanziali aumenti di consumi di combustibile. Una porta non perfettamente a tenuta può creare un "gradino" sulla superficie della fusoliera con uno spillamento d'aria che ha come effetto l'aumento della resistenza aerodinamica. Viene interessato anche il comfort dei passeggeri sia per l'aumento del rumore interno che per l'abbassamento della temperatura in prossimità della porta.

Nelle Tabelle 5.1 e 5.2 si riportano esempi sugli effetti prodotti.

Tabella 5.1. Esempi di aumenti stimati del consumo di combustibile per aeromobile espressi in litri per anno in funzione dell'ampiezza del disallineamento tra le parti e la struttura di fusoliera

Item	5 mm	10 mm
Porta passeggeri anteriore	9 100	21 100
Porta passeggeri posteriore	2 950	6 750
Uscita di emergenza dietro l'ala	3 800	8 900
Porta cargo anteriore	8 900	20 800
Porta cargo posteriore	4 850	11 300
Portellone carrello principale	5 200	14 000
Portello carrello anteriore	8 450	19 200

Tabella 5.2. Esempi di aumenti stimati del consumo di combustibile per aeromobile espresse in litri per anno in funzione della perdita di tenuta delle guarnizioni delle porte

Item	Laterale (segmento mancante 5 cm.)	Superiore o inferiore (segmento mancante 5 cm.)
Porta passeggeri anteriore	1 550	800
Porta passeggeri posteriore	1 000	550
Porta cargo anteriore	1 500	800
Porta cargo posteriore	1 100	550

Superfici

Il degrado delle superfici aerodinamiche che si crea nel corso dell'impiego è normalmente tenuto sotto controllo.

Particolare attenzione va posta alla presenza di graffi ed alle rugosità delle superfici in quanto hanno diretta influenza sul consumo di combustibile. Le Tabelle 5.3, 5.4 e 5.5 forniscono alcuni esempi.

Tabella 5.3 Esempi di aumenti stimati del consumo di combustibile per aeromobile espresse in litri per anno in funzione dello errata regolazione delle superfici di controllo

Superfici di controllo (spessore)	5mm.	10mm.	15mm.
Slat	12 300	28200	40 500
Flap	6 050	10 500	13 500
Spoiler	14 000	32 300	50 200
Alettone	6 050	10 500	13 700
Timone	7 450	12 900	16 700

Tabella 5.4. Esempi di aumenti stimati del consumo di combustibile per aeromobile espresse in litri per anno in funzione della profondità delle ammaccature/intaccature o dei rigonfiamenti delle aree in Zona I

Item	Superficie dell'area danneggiata (cmq)	Profondità	
		5 mm.	10 mm.
Fusoliera	20	72	72
	80	274	304
Ala	20	87	95
	80	372	407
Coda	20	46	99
	80	95	186

Tabella 5.5. Esempi di aumenti stimati del consumo di combustibile per aeromobile espresse in litri per anno per 0.3 mm di rugosità superficiale su 1 mq

Area interessata	Combustibile
Fusoliera	3 350
Rivestimento ala (superiore)	12 400
Rivestimento ala (inferiore)	5 950
Coda	5 800

E' pur vero che alcuni valori riportati sono poco significativi e alcuni difetti, presi singolarmente, possono non rappresentare un problema, ma si devono tenere presente gli effetti, a livello globale, prodotti.

L'assenza di alcune porzioni di superficie della cellula tendono ad alterare la sua configurazione aerodinamica (es.: i piccoli portelli di ispezione, i pannelli di rivestimento, ecc.).

Mentre gli aspetti di sicurezza sono garantiti dalla Minimum Equipment List dell'aeromobile, non è così per le conseguenze sul consumo di combustibile (vedi Tabella 5.6).

Tabella 5.6. Esempi di aumenti stimati del consumo di combustibile per aeromobile espresse in litri per anno dovute all'assenza di parti della struttura

Tipo di deterioramento	Combustibile
<i>Assenza di guarnizioni su superfici mobili:</i>	(per metro di guarnizione)
Slats (apertura alare-guarnizioni di raccordo)	14 000
Flaps e alettoni (corda-guarnizioni di raccordo)	9 500
Equilibratore	6 300
<i>Gondola motore: un portello di sovrappressione mancante</i>	34 000 269 000 364 000
<i>Spoiler o aerofreno: bordo di uscita mancante da uno degli elementi</i>	5 950
<i>Porta cargo: carenatura della maniglia mancante</i>	1 000
<i>Congiunzione deriva/fusoliera: carenatura e guarnizione mancante</i>	39 500
<i>Equilibratore: coperchio di accesso al cuscinetto mancante</i>	19 700

Strumenti

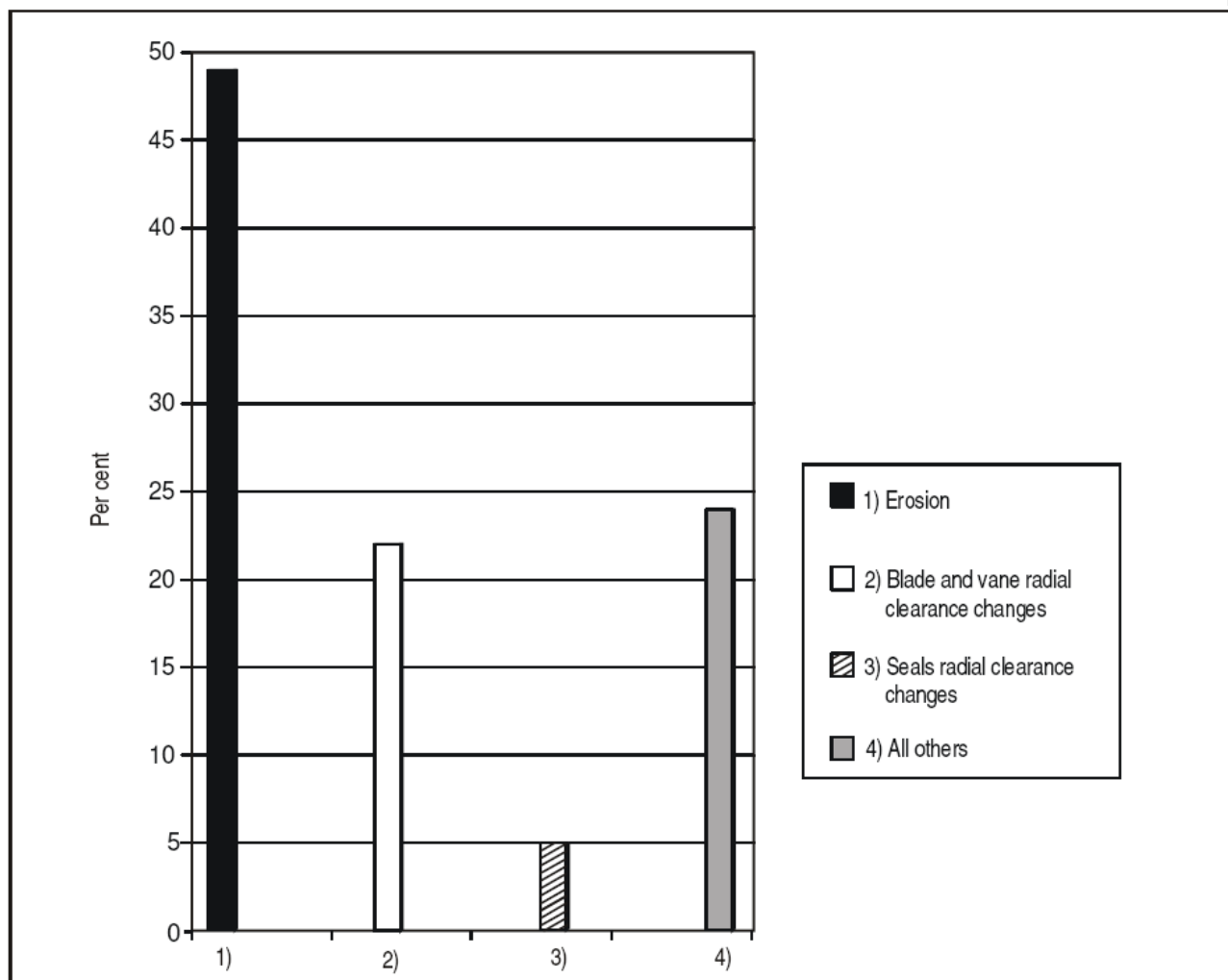
L'imprecisione degli strumenti di bordo costituisce un'altra causa di aumento elevato del consumo di combustibile. Le false letture possono comportare la convinzione che l'aereo sta volando in condizioni di prestazioni ottimali quando la realtà è diversa. Ad esempio un errore di lettura di solo 0.01 dell'indicatore del Numero di Mach può costare 170000 litri annui in consumo di combustibile. Invece un errore dell'altimetro di 100 ft può costare un consumo di combustibile di 100000 litri in un anno.

Motore

Normalmente non vengono presi in considerazione, ai fini del fuel efficiency, deterioramenti nella sezione del fan di un motore, dovuti ai diversi fattori; eppure possono provocare il degrado delle sue prestazioni e quindi l'aumento del consumo specifico di combustibile (vedi tabella 5.7)

Il contributo di ciascuno di questi fattori è riportato nella fig. 5.1.

Figura 5.1 Esempi di cause che determinano un aumento del consumo specifico in un moderno turbofan



La causa principale dell'aumento del consumo nei motori turbofan è l'erosione che può modificare i profili e la levigatezza delle superfici delle pale, le cui conseguenze sono tali da contribuire anche alla perdita di prestazioni del motore.

La zona di passaggio del flusso dei gas è l'area dove maggiormente possono verificarsi i deterioramenti aerodinamici e termodinamici più significativi e dove, quindi, occorre intervenire. Molti dei deterioramenti che avvengono nella sezione del fan possono essere risolti con interventi di manutenzione ordinaria, senza la rimozione del motore. La Tab 5.7 contiene alcuni esempi per un particolare motore, con le stime di consumo del combustibile per diversi tipi di deterioramento.

La parte più accessibile è il fan le cui imperfezioni sono verificabili con una ispezione a vista. Inoltre anche l'accumulo di residui e frammenti può provocare perdite di prestazioni che aumentano con l'ammontare della contaminazione. Alcune di queste perdite possono essere recuperate grazie ad una pulizia periodica degli iniettori di combustibile, in alcuni casi, oppure da un lavaggio ad acqua. Il lavaggio periodico del motore, come molti altri interventi – ad esempio riparazione o sostituzione delle componenti interessate - che non richiedono la rimozione del motore, possono essere fatti nel corso delle operazioni di manutenzione ordinaria e contribuiscono ad evitare aumenti sostanziali di consumo di combustibile.

Tabella 5-7. Esempi di deterioramento del motore

Item	Condizione	Crociera TSFC	Combustibile stimato (litri per motore per anno)
Pale fan	erosione bordo d'entrata	fino a 0.6%	86 500
	pale danneggiate da corpi estranei o rilavorate	fino a 0.3%	43 300
Guarnizione circonferenza interna fan	aumento spazio all'estremità pale fan	0.2% per aumento di 12.5 mm	30 000
Carenatura condotto del fan	erosione bordo di uscita	fino a 0.7 %	11700
Fan/compressore (profilo delle pale)	accumulo residui	fino a 1.0 %	146 000
Compressore (Profilo delle pale)	danno da corpo estraneo accertato sulle palette fisse ingresso compressore bassa pressione	fino a 0.3%	43 000
Motore	alto numero ore/cicli	fino a 2%	293 000
Primo statore	avaria con antighiaccio inserito	1.7%	246 000
Minimo	Regolazione minimo 1% più alto		7 200

L'adozione di buone pratiche di manutenzione è importante anche per l'impianto motore, le gondole e le relative cappottature, come evidenziato nelle Tabelle 5.8 e 5.9.

Tabella 5-8. Esempi di deterioramento dell'impianto motore

Item	Condizioni	Crociera TSFC	Combustibile stimato (litri per motore per anno)
Sistema raffreddamento Carter turbine	avaria totale o parziale (sistema meccanico)	0.9 a 1.9 %	133 000 279 000
	Perdita aria Fan (sist. alimentazione)	fino a 0.5 %	73 200
	Perdita sist. Raffreddamento Turbina	fino a 1.4 %	206 000
Circuito alimentazione aria	Perdita aria	fino a 0.3 %	43 300
Tubazioni antighiaccio	Perdita aria	fino a 1.7 %	246 000

Tabella 5-9. Gondola e cappottatura motori. Esempi di penalizzazione combustibile

Item	Condizioni	Crociera TSFC	Combustibile stimato (litri per motore per anno)
Condotto fan e guarnizioni impianto inversione di spinta	Deterioramento dovuto ad uso e numero cicli	fino a 0.2 %	30 000
Cappottatura Sistema attuazione	Regolazione/usura Sistema attuazione "reversers"	fino a 1%	146 000
Sistema pre-raffreddamento	Perdita aria dalla valvola	fino a 0.5%	73 200
Sistema spillamento: alimentazione aria	Perdita aria sistema spillamento	fino a 1.3%	193 000
Sistema spillamento: alimentazione aria "reversers"	Perdita aria sistema spillamento	fino a 1.8%	266 000
Guarnizioni cappottatura/"reversers"	Accoppiamento difettoso	fino a 0.35%	58 200
Guarnizioni struttura/"reversers"	Accoppiamento difettoso	fino a 0.28%	46 600
Tubazioni ECS	difettose	fino a 0.13%	21 700
Struttura Fan	Deterioramento guarnizioni	fino a 0.04%	6 650
Guarnizioni struttura fan/"reverser"	Deterioramento guarnizioni	fino a 0.05%	8 350

5.2 Corsa a terra

I manuali di manutenzione segnalano la necessità di prestare particolare attenzione ai rapidi movimenti della manetta motore. I più dannosi sono quelli effettuati per ridurre la spinta del motore da regimi elevati (specie dopo lunga permanenza a questi regimi) a valori prossimi al minimo, una breve permanenza al minimo (tempo insufficiente al raffreddamento) e quindi un nuovo spostamento delle manette a regimi elevati. Calcoli ed esperienza hanno dimostrato che, in alcuni motori, tale sequenza, effettuata in un tempo tale da non consentire il



raffreddamento in condizioni di minimo, provoca effetti nella turbina ad alta pressione e come conseguenza un aumento del consumo specifico di crociera del 0,5 %.

Durante la corsa a terra, inoltre, ingestioni di grandi quantità di materiale possono causare l'abrasione della superficie dello statore del fan con forte perdita di prestazioni.

Molte altre possibili condizioni anomale possono essere identificate e trattate; il personale di manutenzione è in condizione di rilevare parametri atipici nelle prestazioni del motore e quindi intervenire con azioni correttive.

5.3 Conclusioni

L'adozione di best practices nella manutenzione minimizza i costi ed il consumo di combustibile: spesso un piccolo investimento di tempo da luogo ad un risparmio di costi.

Un'ispezione visiva periodica, i rapporti degli equipaggi di volo, il monitoraggio delle condizioni del motore e dell'andamento delle prestazioni dell'aeromobile aiutano nell'identificazione di condizioni e situazioni che richiedono adeguati interventi di manutenzione.

Si sottolinea che i dati riportati dalle tabelle e gli accorgimenti suggeriti sono il risultato di test effettuati dai costruttori aeronautici e di una campagna di ricerca IATA.

6. RIDUZIONE DELLA MASSA

La riduzione del peso a vuoto dell'aeromobile e la minimizzazione del carico di combustibile imbarcato determinano un risparmio del consumo di entità variabile in funzione del tipo di aeromobile.

Nella Tabella 6.1 sono forniti degli esempi per alcuni tipi di velivolo.

Tabella 6.1. Risparmio combustibile in litri anno per una riduzione di peso di 2 250 kg

Tipo di velivolo	Risparmio combustibile	
	<i>Litri</i>	<i>percentuale</i>
B707	614 000	0,5
B727	422 000	2,4
B737	198 000	5,0
B747	1 310 000	0,6
DC 9	243 000	3,5
MD 11	253 000	0,8

In questo capitolo sono descritte alcune pratiche raccomandate

6.1 Peso a vuoto

Le possibilità di riduzione del peso a vuoto sono vincolate dalle norme di sicurezza e da ragioni commerciali.

Vi sono, tuttavia, margini di intervento su alcuni fattori: ad esempio la necessità effettiva, in funzione della tratta da effettuare, della presenza a bordo di alcuni equipaggiamenti o di alcune dotazioni commerciali

Altri esempi di riduzione di peso sono:

- **Riduzione nell'ammontare di acqua da bere:** caricare solo quella strettamente necessaria al volo
- **Rimozione dei water coolers:** una riduzione di 18 kg si ottiene con la rimozione dei refrigeratori non utilizzati.
- **Vernice dell'aereo:** verniciare è non solo un problema di marketing, ma anche di protezione; è stato accertato che, utilizzando lo stretto necessario di vernice, si può ottenere una non trascurabile riduzione di peso.
- **Installazione di "zone dryers":** l'installazione di zone dryers in alcuni aerei può ridurre l'accumulo di umidità tra la cellula ed i pannelli di copertura-parete.

- **Riduzione del contenuto dei fly-away-kits:** Il contenuto dei kits può essere riconsiderato.
- **Rimozione del brake cooling fan:** da tener presente che ciò aumenta i tempi minimi di turnaround.
- **Rimozione del sistema antipioggia del parabrezza.**
- **Rimozione del secondo APU:** per esempio, un solo generatore sufficiente per le operazioni nazionali, da luogo ad una riduzione di 45 kg di peso.
- **Contenitori di carico più leggeri:** dovrebbero essere usati contenitori di alluminio; sono anche disponibili contenitori in fibra di carbonio.
- **Equipaggiamenti di sicurezza più leggeri:** possono essere disponibili zattere e giubbotti di salvataggio di tipo più leggero.

6.2 Centro di gravità

La posizione del centro di gravità influenza, di fatto, il consumo di combustibile.

Più è lontano il centro di gravità dalla posizione ottimale, "meno aerodinamico" sarà l'aereo. Con l'aumento della resistenza aerodinamica, si consumerà più combustibile a parità di condizione di volo. Per ovviare a ciò, una particolare attenzione va data alla distribuzione del carico a bordo in modo da garantire il posizionamento del centro di gravità in prossimità della posizione ottimale.

Generalmente il risparmio di combustibile è circa lo 0.05 % per ogni 1 % di spostamento della posizione del centro di gravità; i valori dipendono dalle condizioni di volo e dal tipo di aeromobile.

6.3 Rifornimento combustibile

Nella pratica operativa, l'aeromobile viene rifornito di combustibile anche per le tratte successive a quella di prima destinazione, per diverse ragioni.

- Le differenze del costo del combustibile da aeroporto ad aeroporto a volte arrivano anche al 15%.
- La qualità richiesta o la disponibilità del combustibile adatto non è assicurata sull'aeroporto di destinazione.

- E' necessario minimizzare il tempo di sosta negli aeroporti intermedi per ridurre il rischio di perdere gli slots.

Può, in conclusione, risultare più economico o addirittura necessario imbarcare combustibile per completare tutti i segmenti di volo.

Nelle fare le valutazioni economiche, è bene considerare che il costo del combustibile consumato a causa di quello addizionale imbarcato al decollo può essere maggiore del risparmio ipotizzato.

6.4 Conclusioni

La decisione sulla riduzione del peso spesso è un compromesso tra ragioni di sicurezza, ragioni economiche e necessità di ridurre il consumo del combustibile.

Gli operatori aerei dovrebbero, come buona pratica, rivedere i criteri di calcolo del peso al decollo per migliorare la fuel efficiency e quindi ridurre le emissioni.

7. PIANIFICAZIONE DEL VOLO

La pianificazione del volo può influenzare direttamente o indirettamente la fuel efficiency.

In questo capitolo viene effettuata un'analisi dei fattori che incidono al fine di individuare le "best practices" che possono essere messe in atto dall'operatore aereo.

7.1 Rotte

La scelta della rotta da percorrere è il principale parametro da valutare nella pianificazione.

La minima distanza da percorrere è l'obiettivo degli operatori; tuttavia, a causa del continuo movimento dell'atmosfera, la rotta corrispondente alla minima distanza di volo in aria (least equivalent still air distance) può in pratica essere più lunga rispetto alla distanza al suolo "great circle". Viceversa, con un vento abbastanza forte in coda, è possibile che la equivalent still air distance risulti più corta della great circle.

Altri fattori condizionano la scelta della rotta, ad esempio:

- le aree interdette al volo, generalmente per ragioni militari o per motivi di security
- la congestione di traffico sugli aeroporti di destinazione, che spesso impongono diversioni
- le norme ETOPS (extended range operations) da applicare

- le differenti tariffe di volo tra spazi aerei diversi, che possono suggerire le rotte da percorrere in funzione dei costi da affrontare

In Europa, la distanza media percorsa in eccesso è dell'ordine del 9-11%.

L'ottimizzazione del network di rotte, previsto con lo sviluppo del programma europeo SESAR e dell'americano NEXGEN, contribuirà alla riduzione dell'emissioni gassose.

Intanto gli operatori studiano soluzioni che portano a ridurre i consumi; negli USA i vettori incoraggiano gli equipaggi a richiedere rotte dirette che l'ATC tende ad approvare proprio nell'ottica di ridurre le emissioni gassose.

7.2 Previsioni del tempo

Accurate previsioni del tempo evitano il trasporto di combustibile non necessario.

Quindi l'efficacia di una pianificazione del volo è soggetta alla disponibilità di previsioni meteo il più possibile accurate, ciò in particolare nelle tratte molto lunghe dove le condizioni del tempo possono notevolmente cambiare nell'arco di 12 – 18 ore di volo. In alcune aree del mondo la posizione del jet stream, in termini di quota e direzione, è un elemento critico ai fini dell'ottimizzazione della scelta delle rotte per risparmio combustibile.

Anche l'identificazione preventiva delle zone con prevalenti condizioni di formazione di ghiaccio è importante in quanto, sia l'azionamento del sistema de/anti-icing del motore che l'aumento di resistenza aerodinamica e di peso dovuti alla formazione di ghiaccio su velivolo e motori, comportano un consumo aggiuntivo.

Per alcune operazioni di volo, ad esempio l'ETOPS, avere accurate previsioni di tempo per gli aeroporti alternati è fondamentale per una più efficiente pianificazione del volo.

7.3 Punto di congelamento del combustibile

La scelta di volare a quote più alte è limitata dal punto di congelamento del combustibile che varia da -47 °C a -40 °C .

La temperatura del combustibile nei serbatoi è maggiore della temperatura esterna. In una recente campagna di ricerca effettuata dalle compagnie aeree è risultato che con temperature esterne registrate di -70 °C , le temperature del combustibile non sono scese al di sotto di -42 °C ; nella pratica il punto di congelamento reale è inferiore a quello previsto dalle specifiche.

Tuttavia, per evitare situazioni critiche, l'aeromobile vola a quote inferiori e con velocità maggiori; ciò comporta come conseguenza un consumo maggiore di combustibile.

Una pratica adottata da diverse compagnie, soprattutto su rotte a lungo raggio, è quella di fare dei tests su campioni di combustibile prima della partenza per determinare il reale punto di congelamento del combustibile a bordo e fornire l'informazione all'equipaggio per consentire di ottimizzare la scelta della quota e risparmiare, quindi, combustibile.

7.4 Calcolo del combustibile

La riduzione, per quanto possibile, del combustibile da trasportare è uno dei metodi potenzialmente più efficaci per ridurre il peso dell'aeromobile al decollo e quindi il consumo. Le normative vigenti disciplinano in modo puntuale il calcolo del combustibile da caricare a bordo, tenendo conto delle seguenti fasi:

- taxiing
- il volo fino all'aeroporto di destinazione, l'esecuzione dell'avvicinamento e del mancato avvicinamento
- il volo all'aeroporto alternato
- l'attesa sull'aeroporto alternato, l'approccio e l'atterraggio
- situazioni di contingency

Il contingency fuel dipende da molti fattori tra cui le condizioni del tempo, il controllo del traffico aereo ed i possibili ritardi.

Generalmente viene caricato ulteriore combustibile il cui ammontare è basato sulla politica di compagnia o su richiesta del pilota.

Considerando i vari fattori, sono possibili alcune considerazioni:

- a) *ottimizzazione del trip fuel*: è possibile fare qualche aggiustamento con una più accurata pianificazione del volo
- b) *scelta dell'aeroporto alternato*: è consentita una certa discrezionalità
- c) *combustibile per l'attesa*: la normativa vigente consente solo piccoli aggiustamenti
- d) *contingency fuel*: consente interventi consistenti
- e) *combustibile a discrezione* consente interventi consistenti



In alcuni voli la riduzione del diversion o contingency fuel è possibile con l'adozione delle cosiddette procedure "reclearance", "redispatch" oppure "island reserve".

Per tratte di lungo raggio e per velivoli equipaggiati con moderni sistemi di comunicazione e navigazione, quindi, è possibile intervenire sostanzialmente nel calcolo del combustibile di riserva.

7.5 Limitazioni dovute al rumore

L'individuazione di rotte e profili di salita, intese a ridistribuire il rumore nell'intorno aeroportuale o ad evitare il sorvolo di determinate zone, comportano percorsi maggiori e quindi maggiori emissioni gassose.

Analogamente i divieti delle operazioni negli aeroporti in determinate fasce orarie ha come conseguenza la concentrazione di voli nei rimanenti orari provocando rischi di congestione di traffico ed aumento delle attese, degli atterraggi e decolli in tempi ravvicinati.

In conclusione la non appropriata scelta delle misure per il contenimento del rumore può avere conseguenze sulla qualità dell'aria.

7.6 Decollo e salita

Il decollo e la salita sono fasi critiche di un volo a causa della congestione di traffico presente in molti aeroporti. Sul breve e medio raggio, una relativamente larga parte del combustibile è consumato durante queste fasi.

Non vi sono purtroppo molte opzioni per intervenire.

I decolli a spinta ridotta tendono ad aumentare, in piccola parte, il consumo di combustibile, ma i benefici che ne derivano sia ai fini ambientali (riduzione nella produzione di NO_x) che ai fini del deterioramento del motore sono maggiori.

Le procedure di decollo e salita sono disegnate in funzione delle caratteristiche dell'aeroporto e delle prestazioni dell'ATM. Generalmente il risparmio di combustibile dovuto all'ottimizzazione del profilo di salita è piccolo, meno del 1% del trip fuel; nella fase di salita possono costituire causa di penalizzazioni di combustibile i parametri operativi richiesti dall'ATC per ragioni di sicurezza e possibili implicazioni dovute al bird strike.

7.7 Crociera

Gli aeromobili sono progettati per operare alle velocità e quote di crociera ottime. Per i velivoli attuali volare a quote e velocità diverse da quelle ottime comporta un notevole aumento del consumo di combustibile.

Se non è possibile volare a quote ottime è generalmente meglio variare la velocità, anche se le possibilità per ottimizzare la velocità di crociera sono limitate: gli operatori tendono già a volare in prossimità della long range cruise speed.

Qualche possibilità di ottimizzare la quota è legata all'utilizzo della RVSM (Reduced vertical separation minima); in assenza di RVSM tuttavia la scelta di ottimizzare la quota di crociera comporta aumenti di consumo dal 2.5 al 3.5% dovendo attendere la disponibilità di livelli di volo disponibili.

7.8 Gestione degli impianti di bordo

Il sistema di ricircolo dell'aria in cabina serve per mantenere il desiderato livello di ventilazione ed un comfort accettabile dei passeggeri. Usualmente il 50% dell'aria è riciclata . I fans per il riciclo possono essere spenti per alcuni minuti per introdurre un flusso di aria fresca in cabina. Quando uno o più fans sono inoperativi, gli air conditioning packs operano in modalità ad alto flusso andando a spillare una maggiore quantità di aria dal motore che opera quindi con un carico maggiore.

La Tabella 7.1, presentata dalla Boeing, fornisce una stima della percentuale di combustibile consumato per vari tipi di velivolo.

Una compagnia aerea ha calcolato che in queste condizioni si ha un consumo addizionale di 135000 Kg di combustibile per aeromobile.

Tabella 7.1. Aumento stimato del combustibile bruciato con air-conditioning packs operanti in modalità ad alto flusso

Modelli Boeing	Combustibile bruciato	
	1 pack (%)	Tutti (%)
737-300/400/500	0.5	1
747-100/200/300/400	0.3	1
757	0.3	0.7
767	0.3	0.6

7.9 Discesa ed atterraggio

Per queste fasi del volo sono possibili diverse “best practices” per ridurre il consumo di combustibile.

Per la discesa non sono conseguibili ulteriori miglioramenti nel risparmio di combustibile, rispetto a quelli già comunemente adottati.

L'unica osservazione è che in qualsiasi condizione di volo, la velocità di discesa ottima (e pertanto più efficiente in termini di consumo di combustibile) dovrebbe essere intorno ai 280 kt. contro la velocità limite di 250 kt., al di sotto di 10000 ft, per esigenze di ATC.

Nella fase di *avvicinamento*, minimizzando la resistenza aerodinamica, si risparmia combustibile. Questo implica ritardare il più a lungo possibile l'estensione dei flaps, slats e carrello di atterraggio.

E' stato dimostrato che una procedura **continuous descent approach** (CDA) consente un risparmio di combustibile.

Questa procedura, che comporta una discesa continua da almeno 6000 piedi fino alla toccata, minimizza l'uso della spinta di motore durante la discesa, dando luogo ad un consumo di combustibile più basso. Il risparmio di combustibile dipende dal tipo di aereo e dal tipo di discesa; comunque, sono possibili riduzioni tra 200 kg e 400 kg per volo, in funzione dell'aeromobile.

La fase di *holding* è sicuramente la più penalizzante, tuttavia essere in possesso, con congruo anticipo, delle previsioni dei tempi di attesa consente all'equipaggio di intervenire a tempo debito per minimizzare le penalizzazioni. Ad esempio, rallentare durante la fase di crociera oppure allungare la tratta in modo da volare più a lungo e per più tempo - realizzando una sorta di en-route holding – ha il vantaggio di diminuire il consumo addizionale in quanto si ha la possibilità di operare in condizioni vicine a quella ottima.

Nel caso non sia possibile evitare l'attesa in corrispondenza dell'aeroporto, l'obiettivo è volare in configurazione pulita il più a lungo possibile. Ad esempio un A300 che effettua una holding di 15 minuti a 210 kt con slats estesi consuma 300 kg di combustibile in più rispetto alla configurazione a minima resistenza aerodinamica.

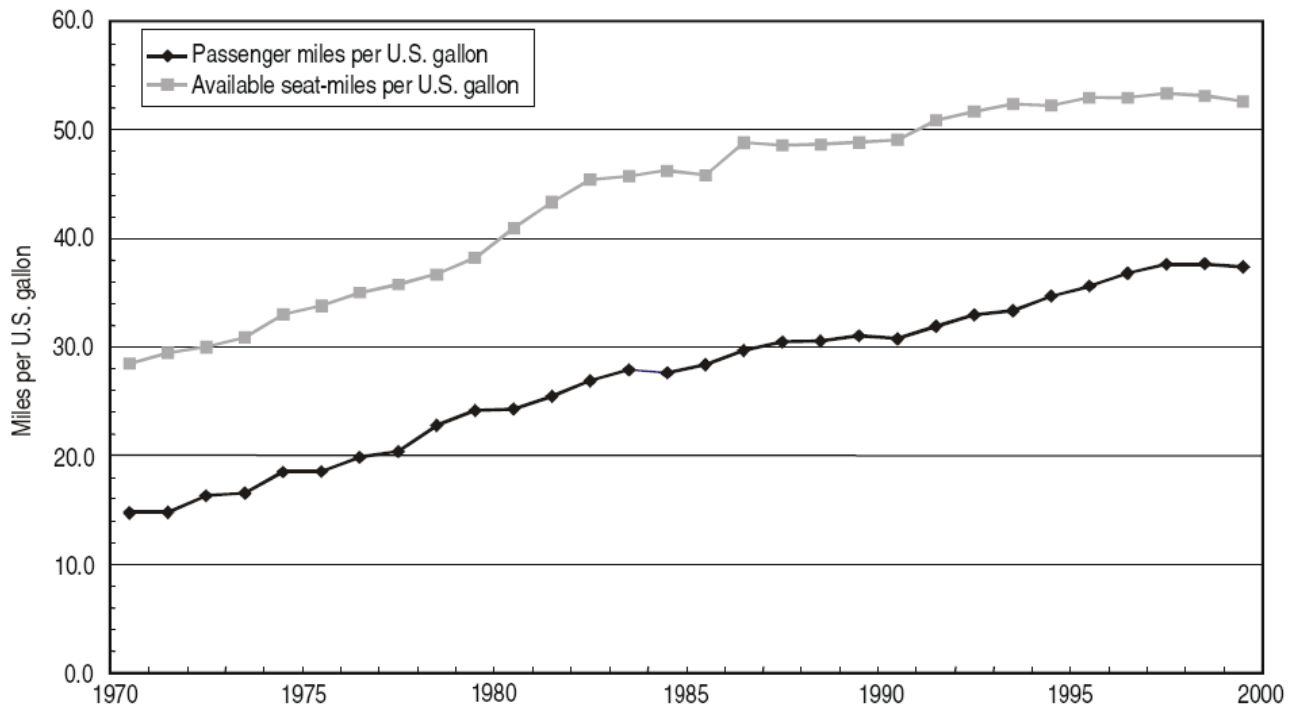
Per quanto riguarda l'*atterraggio*, la Boeing ha calcolato che atterrare senza l'uso dei thrust reversers porta ad un risparmio medio annuale di 75000 litri per un B747. Va però considerato il costo significativamente maggiore dell'usura dei freni.

7.10 Fattore di carico

Le compagnie aeree perseguono l'obiettivo di avere un fattore di carico alto per motivi di efficienza ed economicità. La figura 7.1 mostra l'aumento costante del fattore di carico fin dai primi anni settanta.

Le linee aeree hanno investito in nuove tecnologie per perseguire l'obiettivo.

Figura 7.1



Un fattore di carico alto a livello mondiale significa una diminuzione complessiva delle emissioni gassose presenti nell'atmosfera.

Attualmente l'industria è in grado di aumentare solo marginalmente il fattore di carico rispetto ai livelli attuali.

7.11 Voli non commerciali

Le compagnie aeree per ragioni economiche tendono a diminuire, ove possibile il numero dei voli non commerciali.



Informativa Tecnica

Linee guida relative ad interventi per minimizzare l'uso di carburante e ridurre le emissioni gassose

Ed. 1

pag. 34 di 34

I voli di addestramento si sono progressivamente ridotti grazie alle nuove tecnologie dei simulatori di volo che hanno consentito programmi di addestramento a zero-flight time.

Quando non sia possibile evitare voli di addestramento, diventa importante la scelta di un aeroporto disponibile per l'addestramento non lontano dalla base commerciale per ridurre il combustibile necessario al posizionamento dell'aeromobile. Da tener presente che, in tali voli, il consumo è più alto in quanto l'aeromobile opera a quote inferiori a quelle previste durante le attività commerciali.

E' difficile quantificare la riduzione di combustibile ottenibile con una diminuzione dei voli di posizionamento o di voli di trasferimento in quanto molteplici possono essere le cause che li determinano.

Un corretto uso della Minimum Equipment List nel rispetto delle condizioni di sicurezza ed una organizzazione mirata della compagnia possono contribuire a ridurre i voli di trasferimento o quantomeno a ridurre le distanze da percorrere.

7.12 Conclusioni

Un metodo importante per minimizzare il consumo del combustibile è il continuo monitoraggio delle prestazioni dell'aeromobile e del motore e l'analisi dei risultati emersi.

L'applicazione di questo processo fornisce una banca dati per singolo aeromobile e specifica tratta, così da consentire lo sviluppo di criteri idonei alla pianificazione dei voli di un determinato aeromobile, adottando "fuel figures" accurate e generalmente meno conservative.

L'aumento del peso a vuoto ed il conseguente peggioramento delle prestazioni, gli effetti benefici di determinate modifiche o interventi di manutenzione o dell'adozione di determinati valori del carico pagante costituiscono una base statistica da fornire agli equipaggi di volo per una maggiore "familiarità" con l'efficienza della pianificazione: ad esempio alcune compagnie raccolgono i dati di prestazione in crociera per ogni velivolo su ogni volo ed analizzano mensilmente i risultati con l'obiettivo di acquisire informazioni ulteriori per una politica di compagnia rivolta alla "fuel efficiency".

8. GESTIONE DEL TRAFFICO AEREO

8.1 Introduzione

I gestori dei servizi di navigazione aerea implementano i sistemi di comunicazione, navigazione, sorveglianza e di gestione del traffico aereo (CNS/ATM) per migliorare la

sicurezza del volo e per ottimizzare l'uso dello spazio aereo e la capacità operativa degli aeroporti. Questi sistemi, di fatto, consentendo istradamenti degli aerei più diretti ed efficienti, riducono le distanze percorse, i tempi di volo e, a livello aeroportuale, i tempi di attesa e di rullaggio; in pratica ne consegue una riduzione del consumo di combustibile.

Sono state fatte delle stime dei benefici ambientali associati con i miglioramenti dell'attuale infrastruttura di CNS / ATM ed è stato valutato un risparmio tra il 6 ed il 12 % di combustibile.

Il combustibile totale usato dall'aviazione civile nel 2000 era dell'ordine di 243 milioni di tonnellate, così il solo risparmio del 1% avrebbe comportato 2.4 milioni di tonnellate in meno di combustibile bruciato.

Questo capitolo descrive le limitazioni dell'attuale sistema ATM e le relative ricadute sulle In conclusione, un metodo efficace per ridurre l'impatto del traffico aereo sull'ambiente è creare un sistema di ATM più efficiente ai fini della sostenibilità ambientale.

operazioni di volo e sull'operatività degli aeroporti con conseguenze significative da un punto di vista ambientale.

A titolo di esempio, vengono descritte misure operative che applicate anche attualmente possono rappresentare delle opportunità per diminuire l'uso di combustibile e ridurre le emissioni.

Vengono, inoltre, anticipate alcune modifiche al sistema, previste in futuro, basate su nuove tecnologie, nuovi concetti e sul miglioramento delle procedure che porteranno ad un sistema ATM integrato e quindi più efficiente.

8.2 Limitazioni del sistema ATM

La limitata capacità aeroportuale è uno dei principali vincoli alla crescita del trasporto aereo in quanto provoca congestione e ritardi. In condizioni di bassa visibilità la movimentazione a terra è ridotta drammaticamente ed aumenta il rischio di runway incursion.. Non sono ancora disponibili sistemi automatizzati a terra per la gestione delle partenze e degli arrivi in modo efficiente e ciò rende inefficace l'automazione dei sistemi di bordo dei velivoli.

Anche le rotte di arrivo e partenza esistenti non sono ottimali per la nuova generazione di aeromobili, in quanto molte infrastrutture dell'area terminale sono basate sulle prestazioni di quelli di vecchia generazione.

L'esistenza di un network di rotte fisse comporta una concentrazione dei flussi di traffico in corrispondenza delle intersezioni maggiori, quindi una diminuita disponibilità di rotte e livelli di volo. Ad esacerbare la situazione contribuisce anche un insufficiente coordinamento

internazionale nello sviluppo dei sistemi ATC round e nel miglioramento della capacità del sistema ATM.

Uno studio effettuato da Eurocontrol ha evidenziato le penalizzazioni dovute all'attuale sistema.

Le conseguenze sono spesso sistemi di gestione del traffico poco flessibili, aumento delle distanze percorse e restrizioni nelle fasi di salita e discesa. Tutto ciò crea un impatto sull'ambiente.

8.3 Opportunità di intervento sul sistema ATM

Un'alta percentuale del traffico aereo in Europa si svolge in salita o in discesa a causa della brevità delle tratte; ciò è dovuto alla configurazione del sistema aeroportuale europeo in cui gli aeroporti sono relativamente molto vicini: ne consegue una complessa interazione delle rotte.

La riorganizzazione del network di rotte, sia nello spazio ECAC che a livello nazionale, è un elemento chiave per il processo di ottimizzazione dello spazio aereo che deve essere focalizzato principalmente sul miglioramento della capacità e dell'efficienza.

La tendenza in Europa nel riorganizzare lo spazio aereo è quella di ridurre, quando praticabile, la lunghezza in eccesso delle rotte, eliminando o riducendo segmenti risultati non necessari.

Nei Paesi Nordici la riorganizzazione ha portato ad una riduzione tra il 2 e il 4 % della lunghezza delle rotte fino ad arrivare, in qualche caso, al 9%. Percentualmente gli interventi maggiori hanno riguardato le rotte brevi.

Ad aumentare la complessità del sistema ATM europeo vi è il fatto che, nella maggior parte delle aree terminali, le rotte sono progettate su base locale e non come un sistema integrato: ciò comporta distanze volate maggiori del necessario.

Le principali iniziative prese in Europa sulle aree terminali riguardano la ri-progettazione dell'architettura dello spazio aereo anche per tener conto delle prestazioni più avanzate dei velivoli moderni. Sono state, anche in questo caso, ridotte le distanze da percorrere, ove possibile, per rimuovere eventuali conflitti tra rotte di arrivo e partenza: è aumentata, quindi, la possibilità di autorizzare profili "preferiti" di salita e discesa.

Nel riprogettare le aree terminali sono state anche riviste le varie opzioni di settorizzazione in modo da evitare che le fasi di salita e discesa siano eseguite necessariamente "a tratte" a causa del trasferimento del controllo da un settore di avvicinamento ad un altro.

Nella strategia Eurocontrol, l'European Air Traffic Management Programme (EATMP) coinvolge tre aree: operazioni aeroportuali, gestione del traffico aereo e navigazione, ATC e data processing con l'obiettivo di migliorare la safety, la capacità, i costi e l'ambiente. Nel mentre le prime tre sono da tempo all'esame, l'ambiente ha richiesto lo sviluppo di criteri per quantificare i benefici.

Come conclusione è emersa l'esigenza di una migliore organizzazione degli arrivi, partenze e movimenti a terra per accorciare i percorsi, ridurre i tempi, evitare le attese non necessarie sia in volo che a terra, in sostanza di creare un sistema di ATM più efficiente ai fini della sostenibilità ambientale.

Lo sviluppo di tools avanzati di supporto a terra sicuramente aiuterà ulteriormente a perseguire istradamenti e profili più efficienti. Indirettamente, gli ATC decision support tools, quali automated conflict detection e conflict resolution, consentendo rotte dirette, possono contribuire a ridurre le distanze volate.

Guardando al futuro, l'adozione di sistemi di supporto automatizzati contribuiranno ad aumentare i benefici ambientali.

8.4 Nuovi concetti e tecnologie

In Europa l'implementazione di SESAR costituirà un'impostazione completamente nuova della gestione del traffico aereo, prevedendo:

- **il passaggio da operazioni basate sullo spazio aereo ad operazioni basate sulla traiettoria** in modo che ogni aeromobile possa seguire la rotta preferita
- **una pianificazione realizzata in collaborazione** in modo che tutte le parti che partecipano alla gestione del volo possano programmare le loro attività.

In attesa dello sviluppo ed applicazione di questa nuova impostazione, sin da ora nuovi concetti e tecnologie offrono la possibilità di sostenere l'ambiente.

Concetto "Gate-to-gate"

Il "gate-to-gate" è un concetto che considera e gestisce un volo come un evento continuo, dalla pianificazione fino alle attività post-volo. Il concetto di "gate-to-gate" adottato da EUROCONTROL ed applicato nella Strategia 2000+ di ATM aiuta a mitigare gli effetti dell'aviazione sull'ambiente. Questo concetto, associato a quello del Collaborative Decision Making Process (CDM), consente di ridurre le inefficienze del sistema e velocizza i tempi



Informativa Tecnica

Linee guida relative ad interventi per minimizzare l'uso di carburante e ridurre le emissioni gassose

Ed. 1

pag. 38 di 38

assicurando un approccio integrato nella gestione delle attività associate allo svolgimento di un volo.

Questo concetto richiede nuove attitudini comportamentali dei soggetti coinvolti, la predisposizione allo scambio di informazioni ed alle condivisioni delle scelte. La sua applicazione consentirà di ottimizzare lo svolgimento di un volo e di gestire al meglio particolari circostanze; ad esempio: un operatore aereo che verrà informato che la cancellazione di una restrizione dello spazio aereo è anticipata rispetto al previsto, potrà negoziare una rotta più breve e diretta.

RNAV con dispositivi ATM automatizzati

L'EATMP considera come uno degli strumenti per raggiungere gli obiettivi l'uso di RNAV con tools ATM automatizzati.

Il Flight Management System (FMS) a bordo dei velivoli fornisce un profilo di volo preferito basato sull'ottimizzazione della rotta, del livello di crociera e del profilo di velocità.

Non sempre possono essere concessi, nel progredire del volo, profili preferiti a voli singoli a causa dei potenziali conflitti con altri velivoli.

L'implementazione di tools di gestione degli arrivi (AMAN) dovrebbe permettere una nuova strategia di gestione della settorizzazione del controllo di traffico consentendo di gestire con fluidità il progresso di un profilo di volo.

La capacità di navigazione dei moderni FMS facilita l'uso di procedure RNAV nei TMA.

L'uso combinato del RNAV e delle funzioni AMAN consentono fattibili continuous descent approaches dalla crociera alla toccata, comportando il 30% di combustibile in meno.

Per le partenze e per la movimentazione in superficie, l'uso di tools automatizzati (DMAN e SMAN) ottimizzerebbero ulteriormente la flessibilità e la capacità operativa degli aeroporti.

Concetto di uso flessibile di spazio aereo (FUA)

Il concetto di FUA si basa sulla ripartizione più efficiente dello spazio aereo fra diversi tipi di utenti. Il principio fondamentale è che lo spazio aereo è un continuum da gestire giorno dopo giorno, contrariamente a quanto avveniva in passato, per far fronte alle necessità di tutti i diversi utenti, principalmente militari e civili con le relative attività.

FUA, attraverso pianificazioni strategiche e processi di coordinamento, in tempo reale e a livelli diversi, rende l'utilizzo dello spazio aereo più efficiente.



L'intenzione è espandere il concetto nel futuro applicandolo alla gestione complessiva dello spazio aereo, adottando un processo di pianificazione di piena collaborazione e cooperazione per ottimizzare l'uso dello spazio aereo ECAC.

Reduced vertical separation minimum (RVSM)

L'introduzione del concetto di RVSM comporta :

- migliori profili di volo ed aumento dell'efficienza di consumo di combustibile;
- incremento della capacità dello spazio aereo.

L'RVSM è stato implementato nel nord Atlantico nel 1997. In Europa, l'introduzione del RVSM, il 24 gennaio 2002, ha offerto l'occasione di revisionare la struttura dello spazio aereo europeo.

Nel 1999 è stata realizzata una valutazione di massima dei costi/benefici. L'analisi ha evidenziato che il 94 % dei benefici globali derivanti dal RVSM è da attribuirsi alla riduzione dei costi associati ai ritardi dei velivoli, mentre il rimanente 6% va all'aumento del fuel efficiency.

Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)

L'uso della nuova tecnologia di sorveglianza del traffico consente di superare i gaps esistenti nelle coperture radar e quindi di ottimizzare la capacità e l'efficienza dello spazio aereo a vantaggio di rotte più efficienti da un punto di vista ambientale e di risparmio dei costi combustibile.

Questo tipo di tecnologia combina i segnali satellitari, gli equipaggiamenti a bordo, le stazioni a terra e i links di comunicazione per fornire lo stesso tipo di informazione del radar.

In Canada nel gennaio 2009 è stato effettuato il primo volo sulla baia di Hudson in uno spazio a sorveglianza ADS-B, di un velivolo proveniente da Londra e diretto a Los Angeles. In tal modo è stata superata l'assenza di copertura radar di un'area di 850 chilometri quadrati che consentirà un più efficiente uso della baia di Hudson ai velivoli dotati di equipaggiamenti ADS-B.

L'autorità canadese ha stimato una riduzione di 18 milioni di litri di combustibile con conseguente riduzione di 50 tonnellate l'anno di CO₂ dovuta al pieno utilizzo di questo spazio aereo.

8.5 Conclusioni

E' stato già detto che il rapporto dell'IPCC ha evidenziato i benefici ambientali ottenibili con opportuni interventi nel sistema dell'Air Traffic Management (ATM) inteso *gate to gate*.

Uno studio promosso dal CAEP ed effettuato dagli Stati Uniti ha definito una stima del risparmio di combustibile e soprattutto della riduzione di determinate sostanze gassose a seguito dell'implementazione a livello mondiale di determinate iniziative del sistema CNS/ATM.

In Tabella 8.1 si riportano i risultati di tale studio

Tabella 8.1. Risparmio combustibile stimato e riduzione delle emissioni dall'implementazione del sistema CNS/ATM a livello globale (migliaia di tonnellate)

Iniziativa CNS/ATM	Fuel	NOx	HC
CDTI benefits	69	0.8	0.2
Oceanic step climb	2	0.05	0
UPR to all flights	70	0.8	0.2
RVSM	1 056	11.8	3.2
Cruise climb	107	1.2	0.3
Data link	039	11.4	3.1
Oceanic RVSM/RHSM	137	1.5	0.4
Total	4 629	51.25	13.8

9. IMPLEMENTAZIONE

Per ottenere i miglioramenti delle prestazioni ambientali del sistema aviazione vanno adottati due approcci: interventi mirati sulle singole componenti ed un approccio sistematico di tipo integrato.

La scelta delle misure più opportune da adottare deve tener conto delle caratteristiche dell'aeroporto, del potenziale impatto sull'operatività dell'aeroporto e delle considerazioni di sicurezza.



Informativa Tecnica

Linee guida relative ad interventi per minimizzare l'uso di carburante e ridurre le emissioni gassose

Ed. 1

pag. 41 di 41

Per realizzare riduzioni significative delle emissioni gassose, occorre che l'azione sia presa da tutti gli stakeholders coinvolti nelle operazioni aeree, dagli aeroporti e dal sistema di gestione di traffico aereo.

Anche i costruttori possono contribuire al miglioramento dell'approccio integrato fornendo agli operatori gli strumenti e le informazioni necessarie per il miglior utilizzo dei loro aeromobili.