

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in
Ingegneria Aeronautica



Analisi dell'impatto operativo dei sistemi di rullaggio elettrici

Relatore: Prof. Cesare CARDANI

Tesi di Laurea di:

Roberto CARERI

Matr. 682714

Anno Accademico 2013 - 2014

...ai miei nonni

Indice

I	8
1 Descrizione del problema	9
1.1 Introduzione	9
1.2 Emissioni gassose	11
2 Procedure e sistemi attuali per il rullaggio	15
2.1 Accensione motori	15
2.2 Rullaggio	16
2.3 APU	19
2.4 Pneumatici	21
3 Descrizione costruttiva	23
3.1 Soluzioni "Fuel Saving"	23
3.2 Problematiche	25
3.3 Sterzo	26
3.4 Salvaguardia dei Pneumatici	29
3.5 PGSA	31
II	33
4 Analisi del risparmio	34
4.1 Strategie di approvvigionamento	34
4.2 Analisi	35
4.2.1 Taxi-Out	35
4.2.2 Prima analisi	36
4.2.3 Case study	41
4.2.4 LVP - Low Visibility Procedures	49
4.2.5 Analisi più approfondita	55
4.3 Manutenzione	60
4.3.1 Programmi di manutenzione	60

<i>INDICE</i>	3
4.4 Emissioni	65
4.4.1 Valutazione delle emissioni	66
4.4.2 LTO	69
III	71
5 Valutazione del sistema	72
5.1 Impatto operativo	72
5.2 Possibili sviluppi	73
5.2.1 Celle a combustibile	73
5.2.2 A-CDM	74
5.2.3 Variable Taxi Time	77
5.2.4 Aeroporto	79
6 Conclusioni	82
6.1 Valutare i consumi	82
6.2 Valutare le emissioni	85
6.3 Valutare i sistemi	85

Elenco delle figure

1.1	Percentuali dei costi per area geografica	10
1.2	Costo del lavoro e del combustibile	11
1.3	Brent, WTI, Jet Fuel	12
1.4	Costo e consumo di carburante delle compagnie aeree americane	12
2.1	Engine drain mast	16
3.1	Limitazioni nell'uso dello sterzo	27
3.2	Posizione volantino dello sterzo	27
3.3	Volantino dello sterzo	28
3.4	Posizione manetta eTaxi	29
3.5	Schema carrello atterraggio	30
4.1	Piazzale Nord	42
4.2	Punti di rilascio dopo il push-back	43
4.3	Flusso di traffico per la linea C	44
4.4	Schema riassuntivo	52
4.5	Consumi-Emissioni	69
4.6	Risparmio	69
4.7	Andamento emissioni	70
4.8	Ciclo LTO	70
4.9	Ciclo LTO	70
5.1	Flusso dati CDM Milestone	77
5.2	Twist	79
5.3	Twirl	80

Elenco delle tabelle

2.1	Consumi Airbus	18
2.2	Consumi APU	19
2.3	Confronto consumi	20
4.1	Tempi Taxi Germania-Finlandia	37
4.2	Tempi Taxi Inghilterra-Olanda-Irlanda-Danimarca	38
4.3	Tempi Taxi Spagna-Francia-Italia	39
4.4	Tempi Taxi Svizzera-Vari Est	40
4.5	Consumi medi IATA	40
4.6	Condizioni standard: self maneuvering	45
4.7	Condizioni standard: push-back	45
4.8	Condizioni standard: British Airways	46
4.9	Condizioni de-icing	48
4.10	Condizioni LVP: self maneuvering	53
4.11	Condizioni LVP: push-back	53
4.12	Condizioni di neve sul campo: tempi	54
4.13	Condizioni di neve sul campo: self maneuvering	54
4.14	Condizioni di neve sul campo: push-back	54
4.15	Tempi medi per tipo di aeromobile	55
4.16	MIT: primo approccio	57
4.17	MIT: secondo approccio	58
4.18	Fermate ed accelerazioni	58
4.19	Fermate ed accelerazioni	58
4.20	Consumi	59
4.21	Consumi	59
4.22	Risparmio tempi	64
6.1	Tempi medi	83
6.2	Tempi minimi utilità eTaxi	84

Abstract

Il testo analizza l'impatto operativo che, un sistema di rullaggio elettrico, può avere su un velivolo di linea. Si sono analizzate le attuali procedure, valutati i tempi di rullaggio dei maggiori aeroporti europei e le categorie di velivoli ai quali questi sistemi possono essere indirizzati. É stata condotta una raccolta dati sul campo, valutando le tempistiche del rullaggio nei vari scenari e quantificando il possibile risparmio. Sono state condotte interviste a piloti e personale di rampa per poter valutare e comprendere le variabili in gioco. Sono state calcolate le emissioni gassose nelle varie configurazioni, per poter analizzare l'impatto ambientale che le soluzioni di rullaggio elettrico possono avere. Infine è stato analizzato a quali sviluppi tale tecnologia può portare.

Premessa

Risparmiare è la chiave del successo, oggi come non mai. Se al risparmio è associato anche il rispetto delle stringenti normative sulle emissioni, allora, potrebbe essere una buona soluzione.

Lo scopo dello scritto è quello di valutare sul campo se i sistemi, che si stanno sviluppando nel mondo aeronautico per un rullaggio più parsimonioso, sono realmente convenienti. Si è voluto dare allo scritto un taglio più critico, sfruttando in parte, le conoscenze dell'autore sul mondo aeronautico relative al suo impiego. Controllore del traffico aereo dal 2010, ha lavorato fino alla fine del 2013 presso la torre di controllo di Napoli "Capodichino" ed oggi è impiegato a Milano "Linate". Sfruttando i contatti all'interno dell'aeroporto ha condotto interviste, raccolto dati e semplici osservazioni di tutto quello che può condizionare la vita operativa di un velivolo dotato di un sistema elettrico di rullaggio. Considerando un aeroporto tipo, come quello di Linate, si sono valutate le criticità, le procedure aeroportuali e possibili inconvenienti a cui può andare incontro un sistema elettrico. Anche in relazione alla "famiglia tipo" (A320) alla quale questi sistemi possono essere destinati, si sono analizzati i possibili miglioramenti che tali soluzioni possono introdurre.

Parte I

Capitolo 1

Descrizione del problema

Panoramica su quanto il costo del carburante stia diventando una voce sempre più determinante nel bilancio di una compagnia aerea e impatto del trasporto aereo sulle emissioni globali.

1.1 Introduzione

Nel 2008, il carburante è stata la voce più costosa per il settore globale del trasporto aereo. Sulla base di un campione di 45 importanti compagnie aeree passeggeri a livello mondiale, il carburante ha rappresentato circa il 32,3% dei costi operativi totali, rispetto al 27,4% del 2007. La quota del costo del lavoro (comprese le pensioni) è scesa dal 22,8% del 2007 al 20,1% nel 2008. La quota del costo del carburante era del 12 – 13% tra il 2001 e il 2003, ma il prezzo medio del jet fuel al barile passò dai 34,7 \$ nel 2003 a 126,7 \$ nel 2008. A partire dal 2001 le compagnie aeree risposero ai costi sempre più elevati del carburante e alle forti pressioni finanziarie operando con aerei che consumassero sempre meno carburante e portando a termine guadagni in produttività ed efficienza in tutte quelle voci estranee al combustibile. In particolare, la produttività del lavoro (in termini di addetti per tonnellata al chilometro) migliorò del 42% nel periodo, di conseguenza, la quota di lavoro nei costi operativi totali scese dal 28,3% del 2001 al 20,1% nel 2008. Le compagnie aeree ottennero, inoltre, notevoli miglioramenti nei costi in altri settori, come nella distribuzione e nella semplificazione del progetto imprenditoriale [5].

Differenze regionali del costo del carburante e del lavoro

Sono significative le differenze geografiche tra le quote dei costi del carburante e del lavoro all'interno dei costi operativi totali: nel 2008, la voce costo del lavoro nella gestione delle compagnie aeree fu del 22 – 25% in Nord America e in Europa, ma solo del 14,7% in Asia-Pacifico, ciò riflette il basso costo dei salari del continente asiatico. Tuttavia, nonostante il costo del lavoro più basso, la percentuale del costo del carburante era del 36,7% in Asia-Pacifico, in proporzione più elevata che altrove [5].

	North America		Europe		Asia Pacific		All Major Airlines	
	2001	2008	2001	2008	2001	2008	2001	2008
Labour	36.2%	21.5%	27.2%	24.8%	17.2%	14.7%	28.3%	20.1%
Fuel	13.4%	34.2%	12.2%	25.3%	15.7%	36.7%	13.6%	32.3%
Aircraft Rentals	5.5%	3.0%	2.9%	2.5%	6.3%	4.5%	5.0%	3.5%
Depreciation and Amortisation	6.0%	4.5%	7.1%	5.7%	7.4%	7.8%	6.7%	5.9%
Other	38.9%	36.9%	50.7%	41.8%	53.4%	36.3%	46.4%	38.2%

Source: Company Reports

Figura 1.1: Percentuali dei costi per area geografica

La grande opera di ristrutturazione delle compagnie aeree del Nord America a partire dal 2001, ha consentito di raggiungere miglioramenti significativi nella produttività e riduzioni del costo totale del lavoro. Il costo del lavoro, sul totale dei costi operativi per le compagnie aeree del Nord America, scese bruscamente dal 36,2% del 2001 al 21,5% nel 2008, ciò riflette un forte aumento dell'indice di costo del carburante rispetto allo stesso periodo, ma anche che il costo del lavoro diminuì molto¹. Nel 2008, la prima volta dal 2001, il costo del carburante rappresentò, per le compagnie aeree europee, una percentuale più alta dei costi operativi rispetto a quello del lavoro. Il lavoro incide per il 24,8% dei costi operativi, mentre il carburante circa 25,3%, il divario tra il carburante e il costo del lavoro iniziò a ridursi in modo significativo a partire dal 2001. Ciò riflette in parte la maggiore flessibilità commerciale per le compagnie aeree europee di realizzare una copertura finanziaria dei costi del carburante, che ha fornito una protezione dal forte aumento dei costi del carburante. Successivamente la crisi finanziaria del 2008/2009 colpì anche il mercato petrolifero facendo crollare i consumi e il prezzo del greggio (figura 1.3). Dal 2004, con il costo del lavoro basso, il carburante rappresenta il maggior indice nel bilancio per le compagnie aeree dell'area Asia-Pacifico (quattro anni prima che nel resto del mondo); le compagnie aeree di quest'area sono state le più esposte all'incremento dei costi del greggio. Nel 2008, le spese del carburante hanno rappresentato in media

¹Complici anche le manovre, a livello pensionistico, intraprese dallo Stato.

il 36,7% dei costi operativi per le compagnie aeree Asia-Pacifico con punte superiori al 50% [5].

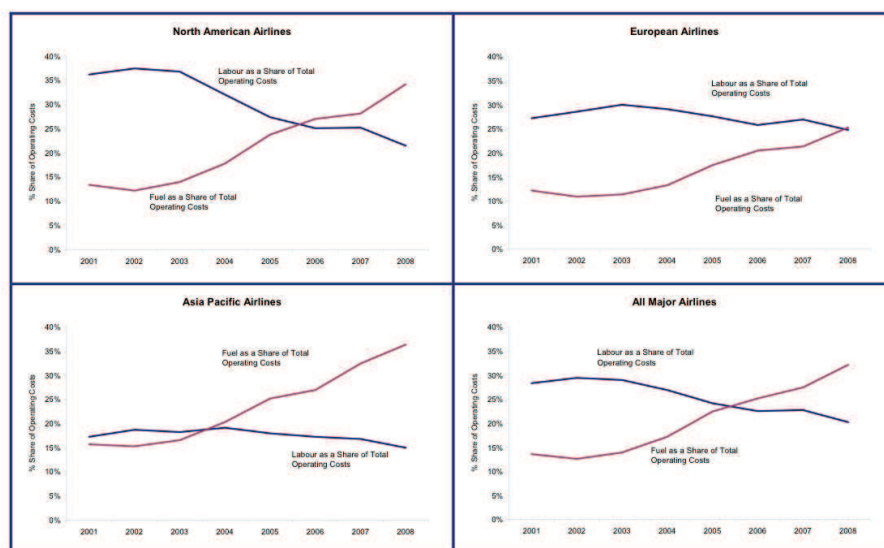


Figura 1.2: Costo del lavoro e del combustibile

Nella figura 1.3 è riportato l'andamento del costo medio del greggio e del combustibile per jet ($\frac{\$}{barile}$)¹, si nota l'aumento continuo del prezzo fino al 2011 per poi stabilizzarsi². In figura 1.4 è riportato l'andamento dei costi e dei consumi di carburante fino a settembre 2014. Secondo il BTS (Bureau of Transportation Statistics), nei primi nove mesi del 2014, il consumo di carburante nel settore del trasporto aereo statunitense è aumentato del 2%. Il costo per gallone³ è sceso, nel mese di settembre del 2014, a 2,86\$, con un decremento su base annua di circa 6,2% e i dipendenti (a tempo pieno) sono aumentati del 1,1% [26].

1.2 Emissioni gassose

Il trasporto aereo incide solo per il 5% sul consumo totale delle risorse petrolifere mondiali. Ogni anno vi è un miglioramento dell'efficienza energetica del 3–4%. Per fare un esempio i motori turbojet prodotti nel 1982 producono

¹1 barile=135 Kg.

²Il Brent è il greggio di riferimento per il mercato Europeo mentre il WTI (West Texas Intermediate) per quello americano, ovviamente le differenze non si limitano solo al mercato sul quale vengono scambiati ma anche ad altri fattori, ad esempio il mezzo di trasporto (es. oleodotti(WIT)).

³U.S.gal. = 3,79 litri

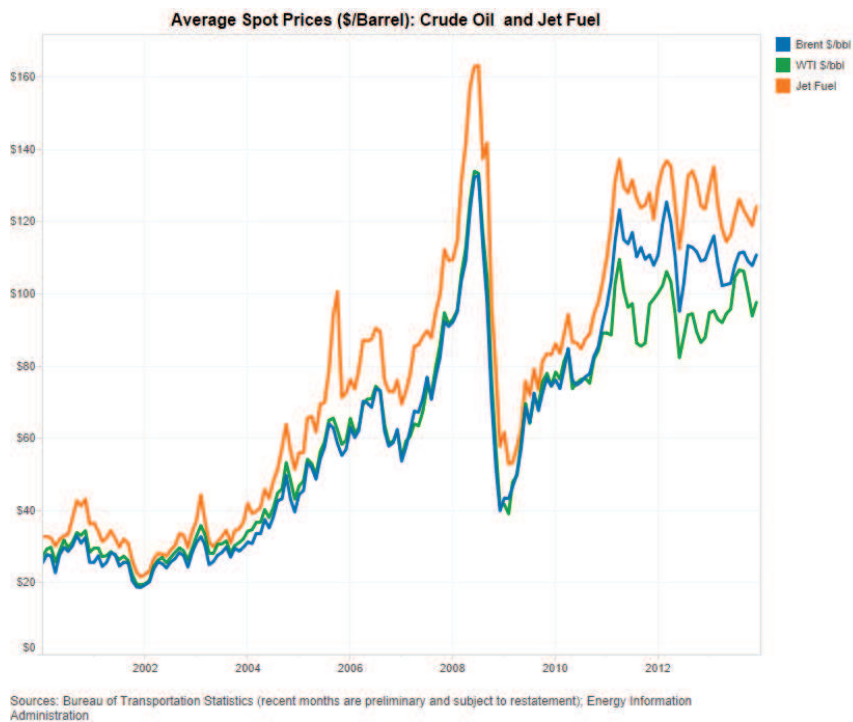
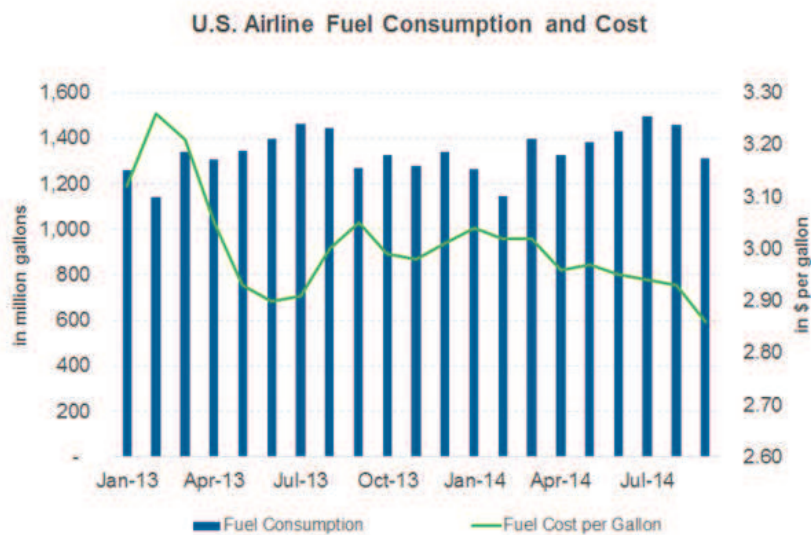


Figura 1.3: Brent, WTI, Jet Fuel



Market Realist

Source: BTS

Figura 1.4: Costo e consumo di carburante delle compagnie aeree americane

circa 85% di gas incombusti in meno rispetto a quelli prodotti negli anni '70 e il monossido di carbonio (CO) è diminuito del 70% nello stesso periodo. Gli aeromobili a getto contribuiscono per circa il 2 – 3% della produzione mondiale di biossido di azoto NO_2 e di CO_2 [27]. I sistemi di trasporto di superficie, invece, producono circa il 22% delle emissioni di carbonio e il trasporto marittimo europeo circa tre volte quello degli aeromobili. Il trasporto aereo incide circa del 3 – 5% sull'impatto globale clima del pianeta [29]. La procedura per la certificazione delle emissioni dei motori e i limiti delle emissioni delle sostanze nocive e i metodi di misura sono riportate nell'Annesso 16 parte II. Gli aeromobili sono certificati per le emissioni dei motori come specificato dall'ICAO LTO (Take off and Landing Cycle). Queste procedure per la certificazione, l'avvicinamento da 1500 ft, taxi in arrivo, rullaggio in uscita e decollo fino a 1500 ft, non è detto che siano il modo migliore per valutare le emissioni al giorno d'oggi. Si sono comunque implementate delle metodologie, a livello aeroportuale, per la riduzione delle emissioni, come la gestione dei movimenti sull'apron, le operazioni di push-back e le procedure di compagnia per ridurre i consumi come quelle di rullare con un solo motore. La riduzione delle emissioni nelle operazioni di aeroporto, può essere assimilata alle procedure per la riduzione del rumore e per quello consumo di carburante. Durante il decollo è possibile una riduzione delle emissioni, scegliendo la miglior configurazione e regolando adeguatamente i motori. Le traiettorie di volo possono essere debitamente accorciate, le discese ottimizzate con alte velocità e con il minimo uso dei diruttori e dei flap per migliorare l'efficienza aerodinamica e limitare l'uso dei motori.

In generale, comunque, i velivoli contribuiscono all'inquinamento dell'aria nelle vicinanze dell'aeroporto meno di quanto facciano i veicoli sull'apron e la generazione di energia per l'aeroporto stesso. Può essere assunto che l'apice della contaminazione dell'aria, generalmente, si ha durante il picco di traffico estivo. Nel prossimo futuro sarà necessario introdurre un maggior numero di veicoli di rampa elettrici e nello stesso tempo ridurre l'uso dell'APU a favore di altri sistemi aeroportuali.

In molti paesi sviluppati è documentato che la qualità dell'aria è migliore in città rispetto alla zona aeroportuale. Lo sviluppo del settore aeronautico, negli ultimi decenni, è stato molto rapido e la necessità di energia è aumentata notevolmente tanto da poter prevedere che nel contesto mondiale l'industria aeronautica non inciderà più solo marginalmente nelle emissioni mondiali.

Jet-A1: Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali

Si riporta di seguito un sintetico elenco delle proprietà fisiche del combustibile Jet-A1 utilizzato in aviazione[14].

- Aspetto: liquido limpido
- Odore: di petrolio
- Punto di fusione/punto di congelamento: $<-47\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Punto di ebollizione iniziale e intervallo di ebollizione: $155 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Punto di infiammabilità: $>38^{\circ}\text{C}$
- Densità relativa: $0,775 \sim 0,840\text{kg}/\text{dm}^3$ a 15°C
- Temperatura di autoaccensione: $>220\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Viscosità: max $8\frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$ a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Proprietà esplosive: nessun gruppo chimico associabile alla molecola con proprietà esplosive
- Proprietà ossidanti: la sostanza non reagisce esotermicamente (trasferimento di calore dal sistema all'esterno) con materiali combustibili

Capitolo 2

Procedure e sistemi attuali per il rullaggio

Breve introduzione sulle procedure operative attualmente in uso e sui sistemi che maggiormente possono essere influenzati da un possibile utilizzo di un sistema di rullaggio elettrico (eTaxi).

2.1 Accensione motori

La procedura di messa in moto è, in molte circostanze, automatica. Comunque, se la procedura automatica dovesse fallire per un'insufficienza di pressione dell'aria in ingresso, come ad esempio in caso di aeroporti posti ad elevate altitudini o di bassa pressione del gruppo esterno, è consigliata la procedura manuale. Durante l'accensione può verificarsi il riporto, da parte del personale di terra, di una perdita di carburante dall'engine drain mast, in questo caso si dovrebbe mantenere il motore in idle ¹ per 5 min., nel caso continuasse è necessaria un'ispezione manutentiva prima dell'involo [24].

Può accadere che l'alimentazione elettrica venga a mancare durante la procedura di messa in moto, indicata da una perdita del display dell'ECAM², in questo caso è necessario spegnere il master dell'ENG 1. Prima di ripetere l'operazione è necessario effettuare 30s di dry crank³.

I parametri standard del motore in idle al livello del mare [24]:

¹Potenza motore al minimo, 7%

²Electronic Centralized Aircraft Monitor (ECAM) è un sistema, sviluppato da Airbus, che monitora le funzioni dell'aeromobile comunicandole a seconda della rilevanza ai piloti.

³E' la ventilazione forzata dei motori per eliminare i vapori del combustibile dopo un'accensione fallita. L'equipaggio può effettuare questa manovra manualmente.



Figura 2.1: Engine drain mast

- N1⁴ circa 19.5%
- N2⁵ circa 58.5%
- EGT⁶ circa 390°C
- FF circa 275 Kg/h

Al termine dell'accensione del primo motore si precede con il secondo, tranne nel caso di rullaggio single engine.

2.2 Rullaggio

Una buona stima dei tempi di rullaggio é fondamentale. I motori a reazione sono ottimizzati per le condizioni di volo, ma operano per un tempo considerevole al suolo per raggiungere la pista o il terminal. Questo tempo sta aumentando sia per via dell'affollamento degli aeroporti sia per l'aumento delle loro dimensioni, implicando una perdita di tempo e l'aumento del consumo di combustibile. Solo l'uso di uno dei due motori per il taxi (o due

⁴N1 è il compressore di bassa pressione/velocità di rotazione del fan espressa in percentuale.

⁵N2 è il compressore d'alta pressione/velocità di rotazione della turbina espressa in percentuale.

⁶Exhaust Gas Temperature

per gli aeromobili quadrimotori) può portare a dei benefici.

Airbus fornisce delle indicazioni sulle procedure standard da adottare nel Flight Crew Operating Manual per alcune operazioni. I vettori devono considerare diversi fattori prima di incorporare tale procedura nei loro standard operativi:

- non è adatta per elevati pesi;
- è sconsigliata laddove siano previsti dislivelli o nel caso di superfici bagnate;
- non è garantita la protezione da incendi quando il motore viene messo in moto lontano dalla rampa;
- la ridotta ridondanza può comportare una riduzione della capacità di frenata e/o di sterzo;
- è necessario azionare il motore dai due ai cinque minuti (a seconda della motorizzazione) prima del decollo; il tempo di riscaldamento nei motori ad alto rapporto di bypass, ha un significativo riscontro sulla vita del motore stesso;
- potrebbero verificarsi problemi tecnici durante l'accensione del motore con conseguente perdita di tempo per accertamenti;
- FCOM (Flight Crew Operating Manual) prevede l'azionamento dell'A-PU prima dello spegnimento del motore dopo l'atterraggio per evitare una caduta di tensione;
- è necessario un definito intervallo di tempo prima dello spegnimento del motore dopo l'atterraggio in quanto, un prematuro spegnimento, potrebbe inficiare la vita del motore stesso;
- la scelta del motore da usare per il rullaggio deve tenere conto di quanto riportato nel FCOM.

Il rullaggio con un solo motore richiede una maggiore spinta per il taxi e le manovre, bisogna in ogni caso esercitare una certa attenzione per evitare eccessivi jet blast e la movimentazione di FOD. È da sottolineare che rotazioni strette e/o veloci nel senso del motore operativo non sono possibili con un aeromobile di peso consistente. Il single engine taxi può anche essere utile per la salvaguardia dei freni, in quanto non vengono utilizzati per correggere la velocità data dall'eccessiva potenza dei due motori; con questa

CAPITOLO 2. PROCEDURE E SISTEMI ATTUALI PER IL RULLAGGIO 18

procedura la vita dei dischi al carbonio potrebbe prolungarsi notevolmente.

Di seguito è riportata una tabella che riassume il risparmio medio di carburante per un rullaggio di 12 minuti con l'uso di entrambi i motori; di un motore considerando i 4 minuti circa necessari per portare in temperatura il secondo propulsore. Dati forniti da Airbus per i velivoli più diffusi.

Tipo aeromobile	12 min taxi 2 motori [Kg]	12 min taxi (8 min con 1 motore) [Kg]	Carburante risparmiato [Kg]
A318	120	80	40
A319	120	80	40
A320	138	92	46
A321	162	108	54

Tabella 2.1: Consumi Airbus

2.3 APU

L'APU¹ (Auxiliary Power Unit) è un'unità che garantisce al velivolo di essere indipendente, dal punto di vista pneumatico, elettrico e di quello del condizionamento, dai sistemi di terra. Il consumo di carburante dell'APU è ovviamente modesto, rispetto a quello necessario al volo di un aeroplano. Le compagnie cercano sempre di adottare delle politiche di utilizzo precise e mirate, consapevoli del risparmio che possono ottenere da un efficiente uso in rampa. Il consumo dell'APU varia dai carichi a cui deve far fronte e dalle condizioni ambientali. La condizione di consumo minimo è quello di ready to load RTL, carichi addizionali ne aumentano il consumo².

Tipo aeromobile	Modello APU	RTL [Kg/hr]	RTL Max EL [Kg/hr]	Min ECS Max EL [Kg/hr]	Max ECS Max EL [Kg/hr]
A320	36-300	70	85	105	125
A320	131-9A	75	95	115	125
A330 A340	331-350	120	140	175	210

Tabella 2.2: Consumi APU

Le procedure specifiche dell'uso dell'APU per il risparmio di combustibile sono decise dalle compagnie. Per fare un esempio, l'uso di questo sistema anche solo per un minuto in più del dovuto (a 180 Kg/hr) implica un consumo di 3000 kg in più in un anno e l'aumento dei costi di manutenzione [3]. I vettori devono decidere se utilizzare gli apparati di terra (Ground Power Unit, Ground Climatisation Unit, Air Start Unit) o l'APU; dipende da numerosi fattori e parametri relativi ad ogni turnaround³ e dall'aeroporto. Alcuni parametri possono essere:

- durata del turn-around
- condizioni ambientali
- costo della connessione degli apparati
- qualità degli apparati

¹[3]

²RTL: Ready to Load, EL: Electric Load, ECS: Environmental Conditioning System

³Procedura di riqualificazione del velivolo prima di una ripartenza

CAPITOLO 2. PROCEDURE E SISTEMI ATTUALI PER IL RULLAGGIO 20

- carico di passeggeri
- tempo necessario alla connessione
- procedure antirumore

Per lunghi turnaround o lunghe soste (come quelle notturne) l'uso dell'APU non è la scelta migliore in quanto il fattore tempo è limitato, risparmiando carburante e preservando l'apparato stesso. In altri casi, turn-around inferiore a 45 minuti, è preferibile limitare le accensioni dell'APU e utilizzarlo in modalità RTL piuttosto che spegnerlo e riaccenderlo per limitare i cicli di accensione. Alcuni aeroporti limitano l'uso di questo apparato ad un definito intervallo di tempo prima del decollo e dopo l'arrivo, in alcuni casi di turn-around particolarmente veloci è sconsigliabile lo spegnimento completo dei motori così, anche se la domanda di ECS è difficile da soddisfare specialmente in particolari condizioni climatiche (caldo eccessivo) l'APU non viene azionato. L'accensione dei motori deve essere effettuata in coordinamento con l'ATC anche in relazione di un possibile slot o di un eventuale push-back. Se la spinta dovesse essere ritardata è preferibile l'uso dell'APU per il condizionamento e la fornitura elettrica; l'accensione dei motori dovrebbe essere ritardato fino a quando non si è pronti.

Tipo aeromobile	Modello APU	Engine FF [Kg/hr]	APU FF [Kg/hr]	Extra fuel 1 minute [Kg]
A320 CFM	36-300	300	105	3
A330 RR	331-350	720	175	9
A340 CFM	331-350	300	175	2

Tabella 2.3: Confronto consumi

Il vantaggio dell'APU non è solo nel risparmio di combustibile, infatti il costo orario di manutenzione è nettamente inferiore a quello dei motori, così riducendo l'uso dei motori a terra si riducono anche i costi operativi.

2.4 Pneumatici

Gli pneumatici di un aeromobile sono costruiti, come principio, nello stesso modo di quelli che equipaggiano le automobili, ma con caratteristiche che ne definiscono le funzioni, che sono completamente diverse. Per gli aerei commerciali e quelli militari, i produttori sono ormai orientati ad usare pneumatici di tipo radiale e tubeless, mentre per l'aviazione generale sono ancora molto diffusi i cinturati. Questa soluzione ha come caratteristica primaria la disposizione dell'armatura in senso trasversale rispetto al senso di marcia; i vantaggi sono un contatto del battistrada con il terreno decisamente superiore a quello di un pneumatico convenzionale chiamato anche a "tele incrociate"¹.

Il battistrada è liscio, compaiono solo scanalature disposte nel senso di marcia sulla circonferenza, perché un aeromobile non deve fare curve (differentemente da un'automobile), se non in fase di rullaggio e di pre-decollo e post-atterraggio ed a velocità ridotte. Questi pneumatici, con dimensioni che possono raggiungere i due metri di diametro, devono essere il più leggeri possibile, per ridurre il peso totale del velivolo. Le scanalature servono a scaricare l'acqua, in caso di pista bagnata, il più possibile verso poppa e meno ai lati, per non far confluire l'acqua in direzione dei motori, che sono comunque collaudati per ingestioni idriche difficilmente riscontrabili. Questi pneumatici devono sopportare, da fermi, il peso dell'aereo, del carburante, dei passeggeri e dei loro bagagli e, successivamente, devono percorrere la taxiway fino al decollo. Il rullaggio avviene normalmente a circa 50 km/h per un paio di chilometri, ma sono testati per percorrere circa 12 km ad 80 km/h. Durante la corsa di decollo subiscono la seconda maggiore sollecitazione del loro lavoro, perché l'aereo è a pieno carico. La sollecitazione maggiore del pneumatico si ha durante l'atterraggio, il quale deve sostenere il peso del velivolo (mediamente un velivolo dell'aviazione commerciale pesa intorno alle 50.000 Kg) con velocità verticali e longitudinali (intorno ai 200 km/h) dissipando l'energia con il terreno e raggiungendo temperature elevate. Un pneumatico per l'aviazione deve poter passare in poco tempo dai possibili 50 gradi dell'asfalto di una pista al sole estivo ai -60 gradi del volo in crociera in quota. A causa del calore che devono sopportare e della violenza dell'impatto, le gomme di un velivolo commerciale resistono tra i 200 e i 900 atterraggi, mentre quelli militari tra i 50 e i 60. Le pressioni di servizio, per gli aerei commerciali, si attestano attorno ai 180 psi ed il tallone del pneumatico contiene una treccia d'acciaio che deve garantire non solo la

¹L'armatura è composta da sottilissimi fili di acciaio incrociati tra di loro diagonalmente in modo da formare una "tela".

*CAPITOLO 2. PROCEDURE E SISTEMI ATTUALI PER IL RULLAGGIO*22

tenuta della pressione, ma anche il massimo ancoraggio gomma-cerchione, che al momento del touch-down raggiunge la massima sollecitazione, sia in pressione sia in temperatura. Sulla durata di un pneumatico incidono molti fattori, che vanno dal numero di tratte percorse al carico medio, dai tipi di asfalto delle piste con cui vengono in contatto, taxiway, ad aree di parcheggio comprese, all'uso che i piloti fanno dell'aeromobile. Gli atterraggi duri consumano più gomma, così come le brevi derapate che si incontrano in fase di atterraggio dovute ai venti laterali e che precedono il corretto allineamento con la pista, a questo devono essere aggiunte le frenate, più o meno lunghe, che a loro volta incidono sulle temperature.

Capitolo 3

Descrizione costruttiva

Introduzione ai sistemi di eTaxi, descrizione delle soluzioni che si stanno sviluppando, delle loro possibili problematiche, dei vantaggi e dell'impatto sul layout di cabina.

3.1 Soluzioni "Fuel Saving"

Sono tre le società in competizione per offrire, alle compagnie aeree, un sistema che consenta un risparmio di carburante, mantenendo i motori dei velivoli spenti durante il rullaggio. WheelTug, Israel Aerospace Industries e EGTS, una joint venture tra Safran e Honeywell, propongono soluzioni a bordo o esterne con l'obiettivo di rendere il velivolo autonomo a terra, senza dover utilizzare i suoi propulsori. Le tre aziende hanno scelto diverse soluzioni: WheelTug, con sede a Gibilterra, ha ideato un sistema che consiste in un motore elettrico installato sulla ruota anteriore; mentre EGTS ha ideato il suo sistema elettrico di rullaggio verde sul carrello principale; IAI (Israel Aerospace Industries), ha scelto come soluzione un veicolo autonomo, Taxibot, in grado di trainare l'aereo dallo stand alla soglia pista e ritorno. Il vantaggio delle soluzioni di EGTS e di WheelTug è che sono permanenti per l'operatore, in quanto si tratta di sistemi a bordo. Inoltre, la scelta costruttiva sul carrello principale fornisce una trazione ottimale, non comportando alcuna modifica al carrello stesso come, del resto anche la soluzione della WheelTug. È comunque da sottolineare che questa tecnologia non è rivolta alla ricerca di prestazioni di rilievo né tenta di soddisfare la capacità massima di un velivolo commerciale, ma piuttosto ricerca un'alternativa economica e leggera, studiata per massimizzare i ricavi della compagnia aerea. WheelTug consente velocità di avanzamento dell'ordine dei 7-10 nodi e in casi relativamente rari, ad esempio una via di rullaggio scivolosa o quando l'aeromobile

ha il centro di gravità spostato verso poppa, potrebbe essere poco efficace per via del poco attrito.

Il Taxibot e il sistema di EGTS riescono a raggiungere velocità massime dell'ordine di 20 nodi, nettamente superiori alla soluzione collocata sul carrello anteriore, ma per quanto riguarda il Taxibot è sempre una soluzione esterna e quindi rende comunque il velivolo dipendente da altri fattori che lo condizionano. WheelTug ed EGTS possono ridurre in modo significativo l'attesa del velivolo al suolo eliminando i tempi di collegamento e scollegamento del rimorchiatore, introducendo, inoltre, una certa libertà di movimento (autonomo) all'aeromobile. Questa libertà di manovra potrebbe anche portare a nuove procedure aeroportuali per velocizzare il turn-round degli aeromobili, proponendo una diversa gestione/dislocazione dei parcheggi. Le nuove manovre sono quindi permesse grazie alla disposizione del motore elettrico direttamente sul mozzo del ruotino anteriore. Il risparmio nel tempo di turn-around vale 20 volte il valore del carburante risparmiato. Risparmiare quindi 15 minuti a 150\$/minuto, implica un risparmio nel turn-around che può essere quantificato in 2.250 dollari, con un risparmio medio di carburante che può variare dai 100 a 150\$ [2].

Il Taxibot invece non necessita di modifiche o adattamenti all'aeromobile, è necessario solo un cavo che colleghi l'aeromobile al mezzo, per poter essere comandato dall'equipaggio; il mezzo è auto-alimentato e non aggiunge peso.

EGTS e WheelTug propongono un sistema che ha come target aeromobili a breve-medio raggio, per i quali il tempo trascorso a terra rappresenta una parte non trascurabile del ciclo di volo. Pertanto, l'aggiunta di un sistema per migliorare l'efficienza di rullaggio può valere il peso in più che l'aeromobile deve portare in volo. Al contrario, il Taxibot, essendo un sistema di terra esterno al velivolo, può essere visto come adatto per tutte le tipologie di tratta. Tuttavia, non è autonomo come si potrebbe pensare, infatti, un autista di sicurezza deve sempre rimanere all'interno, in primo luogo, per avere la visione posteriore durante il push-back e, in secondo luogo, perché le autorità sono ancora conservatrici e non consentono ad un veicolo di muoversi in autonomia su un piazzale. Al termine del push-back, il conducente del mezzo cede il controllo al pilota all'interno dell'abitacolo (il Taxibot può essere controllato a distanza dal cockpit). Inoltre una frenata del rimorchiatore causerebbe troppo sforzo sulla ruota anteriore, in questo modo il pilota utilizza il sistema frenante del carrello principale. IAI sta pianificando di far entrare in servizio il Taxibot nel 2015. Per il momento la fase dei test di certificazione ha portato al raggiungimento di una velocità di 23 nodi, ed è stato raggiunto sia con Airbus A320 che con Boeing 737 completamente carichi. Lufthansa, inoltre, ha in programma di eseguire dei test con il Taxibot all'aeroporto di Francoforte. Il secondo sistema ad entrare in servizio

potrebbe essere quello di WheelTug, dove prevedono di essere pronti nella prima metà del 2015. La versione che sta per essere certificata è la seconda, quella più leggera (150kg circa per l'intero sistema installato). Né Airbus né Boeing sostengono il progetto, ma WheelTug può vantare la firma di un accordo con tredici compagnie aeree, tra cui Icelandair e KLM. Il sistema sarà installato in post produzione con contratti di manutenzione.

EGTS è programmato per essere disponibile nel 2016 (la società non ha chiarito se questa è stata una data obiettivo per la certificazione o per la consegna); è ancora in fase di ottimizzazione.

Per tutti e tre i sistemi, i benefici secondari abbondano. Ad esempio, l'usura del motore è ridotta, il pericolo di danni da corpi estranei durante il rullaggio quasi eliminata, così come eventuali jet-blast del motore durante le manovre. Tuttavia, le sfide sono numerose: il peso extra sul carrello anteriore può creare difficoltà durante la retroazione, i motori elettrici sul carrello principale possono portare al surriscaldamento dei freni. In più, i controllori del traffico aereo, si troverebbero a gestire traffici disomogenei nella movimentazione al suolo, spesso con rallentamenti durante gli attraversamenti di pista.

3.2 Problematiche

Calore È noto che l'impianto frenante produca una certa quantità di calore. La temperatura dei freni deve essere al di sotto di un determinato valore prima che l'aeromobile possa iniziare la corsa di decollo, in quanto potrebbe non essere abile a frenare nel caso in cui debba abortire il decollo.

Al giorno d'oggi i dischi in carbonio producono una grande quantità di calore e in caso di RTO (Rejected Takeoff) permettono di scongiurare il rischio di incendio del fluido dell'impianto idraulico.

Airbus fornisce un pacchetto standard montato sul mozzo delle ruote per raffreddare i dischi; senza le ventole l'aeromobile potrebbe ritardare il decollo fino al momento in cui la temperatura dei freni non sia all'interno dei limiti consentiti. L'aria viene pompata tra i dischi e fluisce al di fuori delle paratie di protezione del mozzo attraverso i buchi di ventilazione.

Quindi uno dei possibili problemi è il raffreddamento dei dischi, il sistema infatti, potrebbe impedire ulteriormente il deflusso dell'aria essendo montato tra i dischi e le ruote.

Il sistema EGTS è di per sé un sistema che, dati i due motori da 50kw, produce calore durante il taxi. Tutto il calore è quindi localizzato all'interno della ruota. Il liquido dell'impianto idraulico deve lavorare al di sotto del punto d'ignizione per evitare rischi di incendio. Consci di questo problema, Airbus e i suoi partner hanno sviluppato un prototipo con i condotti idraulici

esterni al carrello, ma saranno adeguatamente raffreddati i freni, tenendo conto che spesso non si riescono a raffreddare per tutta la durata del volo e aggiungendo ulteriori elementi che innalzano la temperatura?

Tempo Le compagnie aeree vogliono essere libere da qualsiasi vincolo e quindi anche dal tempo di attesa per raffreddare i freni, tempo che può essere comunque importante. Il sistema EGTS ha la controindicazione che non può permettersi di aggiungere calore al sistema mozzo ruota senza provvedere ad un adeguato sistema di raffreddamento. Di regola il costo di compagnia è di circa 80-120 euro al minuto, quindi è chiaro che ogni minuto guadagnato sono soldi risparmiati, in questo, EGTS, aggiunge al vantaggio di ridurre la quantità di combustibile consumato, lo svantaggio che potrebbe aumentare il tempo di turn-around. Potrebbe quindi accadere che il tempo di turn-around di un velivolo non equipaggiato con EGTS possa essere addirittura inferiore di uno che lo monta [30].

3.3 Sterzo

Il carrello di atterraggio (anteriore e posteriore) è azionato idraulicamente, la sua estrazione o retrazione è comandata dal sistema idraulico della linea Green. Un cilindro idraulico, servito dalla linea Yellow, fornisce la pressione necessaria al pistone che aziona lo sterzo e il BSCU¹ grazie a segnali elettrici ne controlla il movimento. Il BSCU riceve ordini:

- dal volantino di sterzo (hand wheel) del comandante e del primo ufficiale
- dalle pedaliera
- dall'autopilota

Il BSCU trasforma queste informazioni in angoli di sterzo, la rotazione ha dei limiti che dipendono dalla velocità al suolo e dall'origine degli ordini.

Il sistema di sterzo riceve pressione quando l'anti-skid e l'interruttore dello sterzo sono su ON, la leva del traino è nella corretta posizione per il taxi (NORMAL), almeno un motore è in funzione e ovviamente il sensore percepisce che l'aeromobile è al suolo.

Il volantino dello sterzo, posto al lato sinistro del comandante (fig. 3.2) e a quello destro del primo ufficiale, permette rotazioni del ruotino anteriore fino a 75 gradi in tutte le direzioni. Una manetta posta nel tunnel centrale permette di regolare la potenza del motore elettrico del carrello (fig. 3.4).

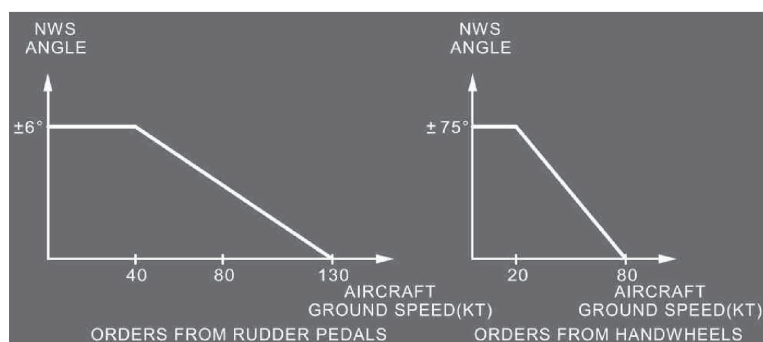


Figura 3.1: Limitazioni nell'uso dello sterzo

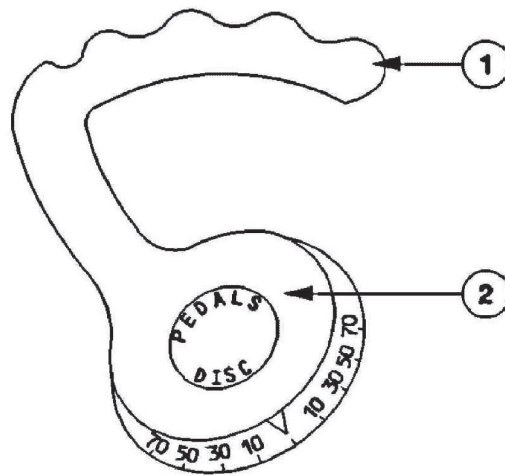


Figura 3.2: Posizione volantino dello sterzo

Una leva sul carrello anteriore permette di disinserire il circuito idraulico per permettere le operazioni di terra, come ad esempio il push-back, e in questo caso è consentita una rotazione fino a 95 gradi. Per prevenire la sovrapposizione di ordini o interferenze di comando dal BSCU, il pilota per manovrare con hand-wheel deve premere un pulsante sul volantino stesso. Prima della retrazione, dopo il decollo, un cinematismo automatico interno rimette in asse la ruota durante il piegamento.

Per l'utilizzo di un sistema di taxi elettrico alcune modifiche sono necessarie a livello logico di sistema (la pressione idraulica dello sterzo è necessaria anche senza motori in funzione) e di procedure operative.

¹Brake and Control System Unit



- (1) Steering handwheels
The steering handwheels, which are interconnected, can steer the nose wheel up to 75° in either direction.
Note: The steering system centers the nose wheel automatically after liftoff.
- (2) Rudder PEDAL DISC pb
Pressing this button on either handwheel removes control of nose wheel steering from the rudder pedals until the button is released.

Figura 3.3: Volantino dello sterzo

Circuiti idraulici

1. Sistemi collegati al circuito idraulico Green:
 - Landing Gear
 - Slats/Flaps
 - Normal Brakes
 - Rev Eng 1
 - Yaw Damper 1
 - Stabilizer
 - Some Flt. Control surfaces
2. Sistemi collegati al circuito idraulico Blue:
 - Emerg. Gen.
 - Slats
 - Rudder
 - Some Flt. control surfaces
3. Sistemi collegati al circuito idraulico Yellow:

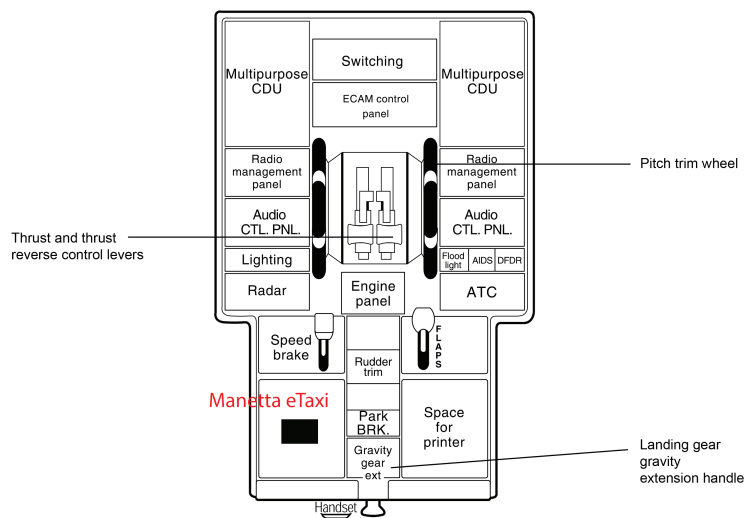


Figura 3.4: Posizione manetta eTaxi

- Flaps
- Alt./Parking brake
- Rev Eng 2
- Yaw Damper 2
- Rudder
- Stabilizer
- Nose Wheel Steering

3.4 Salvaguardia dei Pneumatici

WheelTug

- Il consumo dei pneumatici anteriori, si suppone essere maggiore, data la maggiore inerzia durante l'atterraggio¹, inoltre si prevede una normale aderenza del ruotino durante il taxi.
- Lo slittamento degli pneumatici posteriori durante le curve risulta essere minore, in quanto la trazione è in linea con il carrello anteriore e non sono sollecitate anche trasversalmente dalla trazione asimmetrica dovuta al rullaggio con un solo motore. Inoltre è anche inferiore lo stress sulla spalla del pneumatico.

¹È da evidenziare che il peso aggiunto con il sistema è comunque modesto, circa 150Kg

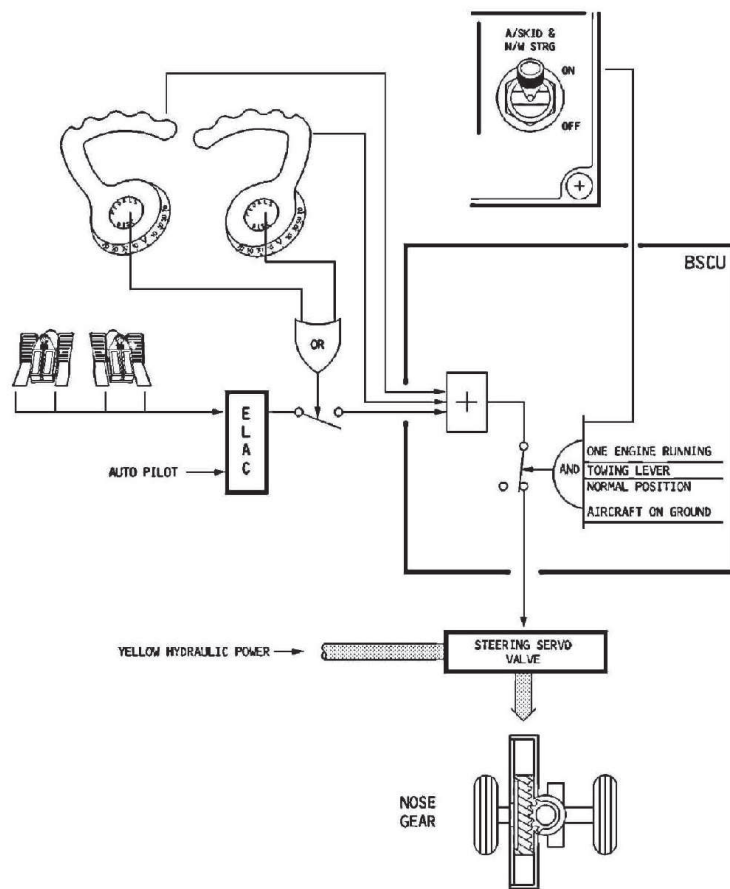


Figura 3.5: Schema carrello atterraggio

EGTS

- Questo tipo di sistema di trazione, con velocità angolare delle ruote differenziato proporzionalmente tra ruota interna alla curva ed esterna, non aggiunge stress ai pneumatici.
- È un sistema sicuramente più pesante di quello proposto da WheelTug, necessita di un oculato bilanciamento ma al momento non sembra avere controindicazioni sul consumo dei pneumatici.

In tutte le considerazioni bisogna sempre tener presente che se gli pneumatici degli aeromobili sono progettati per sollecitazioni longitudinali (non devono sostenere l'aeromobile in curva), tutte gli altri sono stress di per sé da evitare.

3.5 PGSA

WheelTug, in collaborazione con AirBerlin e FTI Network Engineering GmbH, sta sviluppando una tecnologia di monitoraggio delle manovre degli aeromobili al suolo per prevenire le collisioni.

In futuro, il cosiddetto PGSA Pilot Ground Situation Awareness System dovrebbe consentire ai piloti di manovrare senza aiuti a terra, tramite:

- telecamere alari e di coda, per una visuale completa intorno all'aeromobile
- sistemi per la movimentazione in bassa visibilità e di notte
- feedback visivo in cabina ai piloti tramite tablet/EFB¹/PFD
- data recorder per memorizzare i dati della situazione in corso

Fino ad ora, i piloti hanno fatto affidamento sui segnali visivi del personale di terra o dei veicoli per push-back da e per gli stand. Il PGSA è stato sviluppato come retrofit e dovrebbe aumentare, in primo luogo, l'efficienza delle operazioni di terra.

Lo sviluppo, la progettazione e la certificazione del PGSA sarà effettuata da Airberlin Technik e FTI, specialista in sistemi di telecamere, WheelTug fornirà il suo nuovo sistema di rullaggio elettrico ai propri clienti, che è anche in corso di produzione.

Il nuovo sistema PGSA indica la strada verso un futuro economico ed ecologico migliore per le operazioni di terra degli aeromobili. Ancora più

¹Electronic Flight Bag

importante sarà il risparmio di tempo che migliorerà ulteriormente l'efficienza delle operazioni di terra.

Il sistema di Situational Awareness darà un sostanziale aiuto alle operazioni e sarà sicuramente un valore aggiunto al sistema di rullaggio, riducendo la necessità di personale di terra durante le operazioni agli stand, incrementando l'indipendenza del velivolo dai supporti di terra mantenendo un elevato livello di sicurezza e una consapevolezza situazionale di tutta l'area circostante e delle operazioni stesse.

Parte II

Capitolo 4

Analisi del risparmio

Analisi dei consumi di un velivolo durante il rullaggio in diversi scenari operativi e confronto dei possibili vantaggi/risparmi nell'utilizzo di un sistema di rullaggio elettrico (eTaxi).

4.1 Strategie di approvvigionamento

Fino a che non emergeranno nuove tecnologie nel campo dell'energia e dei trasporti, alcune aree di business sono destinate a dipendere giorno per giorno dall'andamento dei prezzi del petrolio (1.1), e quindi a subire la volatilità dei mercati ogni qual volta si prospetti una crisi politica o militare in un paese produttore. Ed infatti, secondo dati riportati dal Financial Times, il costo del carburante rappresenta ben il 46% dei costi operativi totali per Ryanair e il 31% per Easyjet, contro il 23% di Lufthansa e il 27% di Air France-KLM [4]. Tutelarsi dal rischio di variabilità del prezzo del combustibile, attraverso contratti di derivati a termine, è quindi una scelta strategica in questo comparto, necessaria per evitare impatti devastanti sui profitti (hedging). La copertura dal rischio può essere effettuata o attraverso contratti forward "over-the-counter" sul carburante, mediante broker specializzati, oppure attraverso contratti future¹ sul petrolio, il cui prezzo è ovviamente correlato con il costo del carburante, e che quindi generano gli stessi effetti finanziari. Addirittura in alcuni casi quando il prezzo del carburante aumenta sensibilmente le imprese preferiscono lasciare a terra i propri velivoli diminuendo il

¹Contratto mediante il quale si acquistano determinati titoli o merci ad un prezzo che viene fissato immediatamente, mentre consegna e pagamento avranno luogo ad una certa scadenza futura. La differenza fondamentale è che il forward, al contrario del future, è scambiato su mercati non regolamentati (OTC). Perciò non è standardizzato e presenta il rischio non indifferente che una delle due controparti non onori i propri impegni [25].

numero di voli. Nel 2014 Ryanair ha "coperto" attraverso contratti derivati il 90% dei propri costi (fissando il costo implicito del carburante acquistato a 96 dollari al barile), contro il 79% di Easyjet; il terzo operatore "low-cost" europeo, Norwegian Air Shuttle, ha scelto invece di non stipulare alcun contratto a termine. La scelta di Ryanair è sembrata vincente, dopo una serie di "scommesse" sfortunate fatte negli ultimi anni.

Dato che il carburante rappresenta circa $\frac{1}{3}$ dei costi di una compagnia aerea, oltre che implementare una valida politica di hedging², sembra necessario applicare opportune politiche di sviluppo, sia tecniche che procedurali, per ridurre il consumo di combustibile.

4.2 Analisi

4.2.1 Taxi-Out

I voli accumulano una gran parte del loro ritardo al suolo. Questo ritardo è spesso sinonimo di costi aggiuntivi specialmente per quel che riguarda la voce combustibile. Predire i tempi di rullaggio permette di capire il risparmio che si avrebbe migliorando alcune procedure e di valutare seriamente l'utilizzo di sistemi di movimentazione alternativi. Lo scopo è quello di fornire un'analisi dei tempi di taxi-out quindi dal momento del push-back a quello del decollo. È quindi necessario ed importante individuare e capire i fattori che influiscono e determinano i tempi di rullaggio, anche se molti di essi sono difficili da definire e stimare. Fondamentali risultano la configurazione delle piste, le procedure delle compagnie aeree e i relativi terminal, le possibili restrizioni e i fattori che influiscono sulla sequenza di partenza.

La durata del taxi è calcolata a partire da quando il velivolo è pronto con le porte chiuse e freni rilasciati fino al momento del decollo. Il ritardo del push-back è invece l'intervallo di tempo tra lo schedato di sblocco (EOBT) e l'orario effettivo di push-back. Considerando la valutazione di un possibile impiego di eTaxi, quello che interessa è quando l'aeromobile riceve l'autorizzazione di messa in moto da parte dell'ATC in quanto inizia a consumare carburante. Un altro fattore importante è la configurazione aeroportuale e la pista in uso. A seconda della pista, in funzione del layout, del numero di interagenze e di possibili attraversamenti di pista il tempo di rullaggio varia. Considerando gli aeroporti europei con maggior traffico, ci si rende conto che le estensioni non sono da sottovalutare quindi la posizione di partenza di un velivolo può incidere notevolmente sul risparmio di combustibile. Nel caso in

²Strategia d'investimento disegnatata per ridurre il profilo di rischio di un investimento mediante l'utilizzo di strumenti derivati come contratti future e forward.

esame, Linate, l'estensione non è particolarmente rilevante in quanto è presente una sola via di rullaggio per l'aviazione commerciale che serve una sola pista. Più rilevante è lo stand di partenza, se necessita o meno del push-back e della possibile sequenza per la spinta. A Linate sono presenti solo tre punti di rilascio di cui uno poco sfruttato in quanto molto penalizzante. I punti di rilascio sono posizioni collocate sulle taxiway in prossimità delle piazzole che necessitano push-back, studiate e approvate da ENAC, alle quali i trattari rilasciano il velivolo dopo la spinta. Per l'aviazione generale, invece, lo scenario è diverso, in quanto il loro percorso può durare anche di 15/18 min. dal piazzole Ovest fino al punto attesa della pista 36. Le condizioni meteo sono un altro fattore da dover considerare; ad esempio una nevicata, un temporale o come più spesso succede a Milano, la presenza della nebbia influiscono sui tempi di rullaggio per via delle procedure in atto oltre che sullo stimato della messa in moto.

4.2.2 Prima analisi

Come prima cosa si vogliono analizzare i tempi di rullaggio dei maggiori aeroporti europei per capire quali possibili margini di risparmio ci siano con un sistema alternativo per il taxi. Usiamo come riferimento i dati ufficiali distribuiti dalla IATA dei tempi di rullaggio in uscita; i dati sono riferiti all'anno 2013/2014 e i valori presentati sono divisi per categoria ³ (solo se il traffico è rilevante) e vengono forniti i valori medi del taxi in funzione del peso, la deviazione standard e la mediana.

3

L light: MTOW < 7000Kg

M Medium: MTOW < 136000Kg

H Heavy: MTOW > 136000Kg

J Jumbo: Airbus A380-800

Aeroporto (ICAO)	Categoria	Media Taxi	Deviazione Standard	Mediana
EDDF	J	21	5	20
	H	18	6	18
	M	13	5	12
EDDH	H	12	3	11
	M	9	3	8
EDDK	M	9	3	8
EDDL	H	15	4	14
	M	12	4	11
EDDM	H	17	6	16
	M	13	5	12
EDDS	M	10	4	9
EDDT	H	14	4	13
	M	11	4	10
EFHK	H	13	4	12
	M	11	5	9

Tabella 4.1: Tempi Taxi Germania-Finalndia

Analizzando i valori forniti dei 50 aeroporti riportati ci si rende conto che per il 67% dei casi, il tempo del taxi per più della metà degli aeromobili considerati, è compreso tra i 10 e 20 minuti. Per il 28% dei casi il taxi è inferiore ai 10 minuti e solo per il 5% superiore ai 20 minuti. Si nota che il tempo medio del taxi per un velivolo di media categoria è di 12 min quindi, per lo studio in esame, sussiste un margine di risparmio. Nella tabella è 4.5 riportato il consumo di carburante in Kg di un velivolo di media categoria.

Gli aeroporti considerati sono quelli più comunemente utilizzati dai vettori aerei e dove ogni possibile margine di risparmio è fondamentale per essere competitivi. Si nota subito che in aeroporti molto frequentati, come Gatwick (EGKK), Stansted (EGSS), Paris Orly(LFPO), Amsterdam (EHAM), i tempi di rullaggio per un velivolo medio per 4/6 tratte al giorno implicano un certo consumo di combustibile al suolo. Come da manuale operativo di compagnia, in caso di meteo avverso o di superfici viscide, è consigliato l'uso di entrambi i motori per il rullaggio. Una procedura differente con l'ausilio di un sistema elettrico potrebbe permettere di contenere i costi, non rinunciando del tutto alle prestazioni generali del velivolo al suolo ad esempio introducendo un taxi ibrido *1 motore + eTaxi*.

Aeroporto (ICAO)	Categoria	Media Taxi	Deviazione Standard	Mediana
EGBB	H	13	5	12
	M	12	4	11
EGCC	H	19	6	18
	M	14	5	13
EGGW	M	13	5	12
EGKK	H	19	7	18
	M	15	6	14
EGLL	J	28	6	28
	H	23	7	22
	M	19	6	19
EGPH	H	13	5	12
	M	11	3	10
EGSS	M	13	5	12
EHAM	H	16	5	15
	M	12	4	11
EIDW	H	14	6	12
	M	14	6	13
EKCH	H	15	6	13
	M	11	5	10

Tabella 4.2: Tempi Taxi Inghilterra-Olanda-Irlanda-Danimarca

Aeroporto (ICAO)	Categoria	Media Taxi	Deviazione Standard	Mediana
ENBR	M	9	4	8
ENGM	H	22	12	19
	M	13	7	11
ENZV	M	9	4	8
EPWA	H	23	10	21
	M	13	6	11
ESSA	H	14	4	13
	M	10	4	9
GCLP	H	12	3	12
	M	10	4	9
LEBL	H	20	8	19
	M	14	5	13
LEMD	H	18	6	17
	M	16	5	15
LEPA	M	11	3	10
LFBO	M	9	3	9
LFLL	M	10	3	10
LFML	M	10	4	10
LFMN	M	10	3	10
LFPG	J	22	7	21
	H	19	6	18
	M	14	5	13
LFPO	H	16	4	15
	M	11	3	10
LGAV	H	14	3	14
	M	12	4	12
LHBP	M	10	3	9
LIMC	H	16	9	16
	M	12	5	11
LIML	M	7	4	5
LIRF	H	8	6	5
	M	10	6	5

Tabella 4.3: Tempi Taxi Spagna-Francia-Italia

Aeroporto (ICAO)	Categoria	Media Taxi	Deviazione Standard	Mediana
LKPR	M	10	5	9
LLBG	H	18	6	17
	M	15	5	15
LOWW	H	18	6	16
	M	11	5	10
LPPT	H	14	5	13
	M	13	5	12
LROP	M	12	5	11
LSGG	H	15	4	14
	M	11	4	11
LSZH	H	17	7	15
	M	12	5	11
LTAC	H	12	4	11
	M	12	4	11
LTBA	H	19	9	18
	M	17	8	16
UKBB	M	14	7	12
UUDD	H	23	11	18
	M	18	9	15
UUEE	M	18	11	15

Tabella 4.4: Tempi Taxi Svizzera-Vari Est

Self Maneuvering	Dati Airbus Kg	Dati ICAO Kg
2 motori	145,44	151,26
1 motore + warm up	96,72	100,59
eTaxi + warm up	48,00	49,92
Risparmio per ogni decollo [Kg]	48,72	50,67

Tabella 4.5: Consumi medi IATA

4.2.3 Case study

Per valutare un reale vantaggio delle soluzioni di Fuel Saving si è proceduto a valutare il traffico di un aeroporto standard. Le soluzioni attualmente proposte sul mercato (EGTS e WheelTug), sono destinate a velivoli di medie dimensioni, impiegati principalmente in tratte di corto-medio raggio e che operano generalmente su aeroporti non particolarmente estesi, tranne in rari casi. Per poter valutare dei benefici si è considerato come aeroporto tipo l'aeroporto di Milano-Linate e le sue procedure, in modo tale da poter individuare le possibili problematiche ed elementi migliorabili. Per lo più, i dati presi in considerazione per valutare i costi, sono riferiti alla famiglia di velivoli Airbus A320-A319 che maggiormente sono impiegati a Linate (circa il 58% del traffico totale). L'analisi dei costi è difficile da impostare, in quanto i vantaggi di queste soluzioni sono molteplici ma non sempre evidenti.

Per effettuare una prima analisi del processo si deve valutare la posizione di partenza degli aeromobili, come si evince dalla carta (Figura 4.1) degli stand riportata in AIP, gli stand sono suddivisi in piazzole con push-back e in self-maneuvering.

Le piazzole non sono contigue, non c'è quindi un settore solo push-back, ma come si evince dalla pianta si individuano due zone, una completamente a Nord del piazzale in prossimità dell'aerostazione e una completamente a Sud in prossimità della torre di controllo. Le due zone hanno caratteristiche differenti, la prima è servita da impianti di alimentazione a terra, da bridge per l'imbarco e lo sbarco dei passeggeri e dal sistema automatizzato di progressione, la seconda no. Inoltre le due zone hanno delle procedure di push-back differenti, la prima ha come punti di rilascio il QA e il QC, la seconda il D2¹.

È chiaro che le distanze non sono diverse e che quindi, non sono di per sé determinanti tra loro, ma dal punto di vista del controllo del traffico la posizione è molto differente. Infatti la linea C è molto utilizzata per il movimento degli aeromobili a terra sia da/per gli stand con i finger sia per il passaggio degli aeromobili in partenza dal piazzale ATA (piazzale West) che devono obbligatoriamente occupare le taxiways N e C.

Nell'immagine 4.3 sono evidenziati in rosso i percorsi degli aeromobili in rullaggio per la pista 36, mentre in verde quelli che liberano la pista per portarsi alla piazzola designata. Questo implica che, essendo la posizione degli stand 1 – 5 molto critica, può capitare che l'autorizzazione al push-back possa essere ritardata anche di molto e nel contempo l'attesa per impegnare

¹I punti di rilascio sono punti definiti sul piazzale dove il trattore sgancerà l'aeromobile dopo aver terminato la procedura di push-back

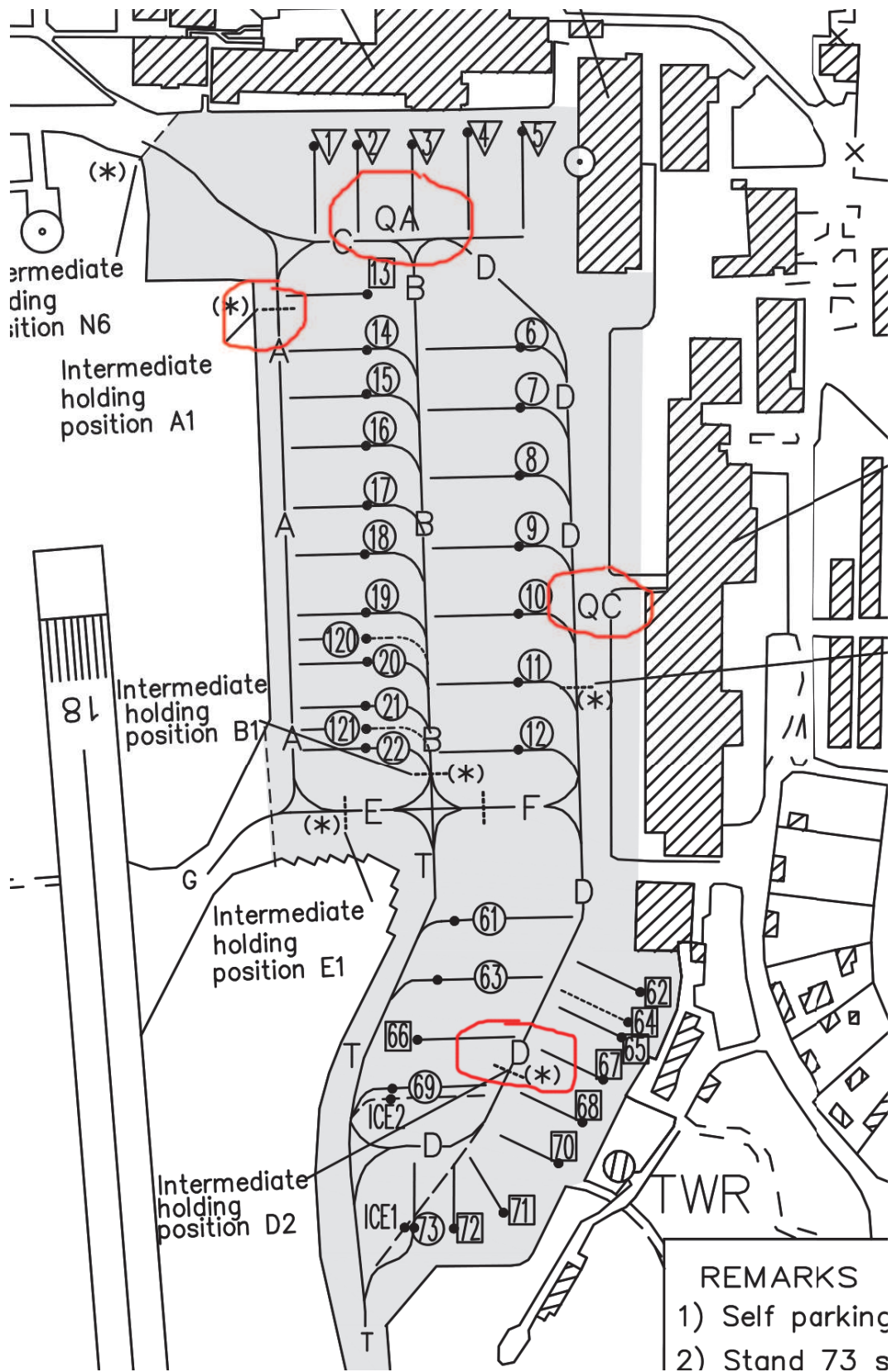


Figura 4.2: Punti di rilascio dopo il push-back

per stand self maneuvering e stand con push-back, sono stati catalogati i dati relativi alla richiesta di messa in moto, alla richiesta di push-back e i tempi di rullaggio e o attesa al HP (Holding Point) della pista in uso. Da quanto raccolto, si evince che ovviamente gli aeromobili con push-back impiegano mediamente un paio di minuti in più (13.6 min) prima di poter decollare rispetto agli altri traffici (11.8 min). Analizzando attentamente i dati raccolti si è notato che alcuni valori erano "distanti" (in eccesso) dal valore medio e dalla relativa deviazione standard. Questi valori, dato che a monte sono stati filtrati da eventi esterni, si sono rivelati specifici di una compagnia, la British Airways. I suoi tempi di rullaggio sono distanti mediamente 5 min dal valore atteso. Effettuando degli accertamenti a riguardo si è scoperto che per delle dinamiche di compagnia, il piano di carico² viene inviato all'equipaggio solo all'ultimo momento prima del decollo, incrementando i tempi di attesa al HP o nella Holding Bay.

Self Maneuvering	Dati Airbus Kg	Dati ICAO Kg
2motori	141,86	147,53
1motore + warm up	94,93	98,73
etaxi + warm up	48,00	49,92
Risparmio per ogni decollo	46,93	48,81

Tabella 4.6: Condizioni standard: self maneuvering

Push-Back	Dati Airbus Kg	Dati ICAO Kg
2motori	163,11	169,64
1motore + warm up	105,56	109,78
etaxi + warm up	48,00	49,92
Risparmio per ogni decollo	57,56	59,86

Tabella 4.7: Condizioni standard: push-back

²Documento ufficiale che certifica la rispondenza del carico dell'aereo ai limiti e alle regole imposti. Così come un aereo troppo pesante rischierebbe di non farcela a levarsi in volo, l'errata distribuzione del carico potrebbe causare squilibri tali da compromettere le capacità di manovra.

Nella tabella è riportato il consumo per il rullaggio, in partenza dalla piazzola fino al momento del decollo. I valori riportati sono suddivisi per il tipo di piazzola in cui sostano (self maneuvering e push back) e considerando i casi di taxi con entrambi i motori in funzione, con il taxi eseguito con un motore solo più il tempo necessario per il warm-up del secondo motore e nel caso di uso di eTaxi sommando sempre il tempo di warm-up così come riportato nei manuali operativi Airbus. Si sono messi a confronto i valori di consumo forniti da Airbus e quelli forniti da ICAO. Tutti i valori sono privi del carico al quale è sottoposto l'APU. Si deduce facilmente che il rullaggio con i due motori è decisamente oneroso, il risparmio netto per ogni decollo, utilizzando un sistema alternativo eTaxi, varia dai 46,93 ai 57,56 Kg (consumi di Airbus).

Per effettuare un paragone su quanto possano incrementare i costi per pochi minuti di attesa, si riporta il costo sostenuto dalla British Airways, così come rilevato sull'aeroporto di Linate, per quei 5 minuti in più di attesa per il controllo del piano di carico³.

British Airways	Dati Airbus Kg	Dati ICAO Kg
2motori	204,00	212,16
1motore + warm up	126,00	131,04
etaxi + warm up	48,00	49,92
Risparmio per ogni decollo	78,00	81,12

Tabella 4.8: Condizioni standard: British Airways

Si nota che il "prezzo del ritardo" è elevato, con un sistema alternativo si potrebbero risparmiare circa 78 Kg a decollo (rispetto all'uso di un solo motore) e modificando le procedure di compagnia, invece, ridurrebbe del 30% i suoi consumi, rullando con due motori e del 26% con un motore. Si vede che nel caso di utilizzo di un sistema di eTaxi un qualsiasi ritardo non introdurrebbe un significativo aumento del consumo di carburante.

³British Airways, per scelte di compagnia, non utilizza stand che necessitino dell'uso del push-back

Secondo rilievo - De-icing

Procedura operativa

La procedura di De-icing consiste nel rimuovere il ghiaccio e prevenirne la formazione sugli aeromobili (il De-snowing consiste nel rimuovere l'accumulo di neve dal velivolo), tale procedura è svolta dal personale SEA in apposite piazzole dedicate poste al limite dell'Apron Nord in prossimità della torre di controllo. A seconda delle esigenze possono essere attive due o solo una piazzola, a seconda del tipo di intervento richiesto (con temperature molto rigide il tempo impiegato si allunga) e del numero di velivoli che ne fanno richiesta. È palese che i tempi possono variare anche notevolmente.

La sequenza delle operazioni deve essere stabilita tenendo in considerazione i seguenti elementi: EOBT¹ ed eventuale CTOT². L'effettivo numero in sequenza e lo stimato di messa in moto (in fase tattica) potranno essere forniti agli aeromobili dalla Delivery³ quando saranno dichiarati rilasciati dall'AMS (Apron Management Service). Il numero di aeromobili che possono essere attivi durante le operazioni di De-icing, con due piazzole in uso, sono così suddivisi:

- 2 aa/mm sotto trattamento
- 2 aa/mm in attesa per l'ingresso sulla linea D
- 2 aa/mm pronti a mettere in moto

Questa procedura serve per contenere i consumi e definire/comunicare i ritardi all'accensione nel miglior modo possibile.

Dati

La situazione considerata in questo caso è quella del De-icing senza implicazioni di ghiaccio sulla viabilità aeroportuale e senza manto nevoso; la temperatura rilevata durante la campagna di raccolta dati, oscillava tra gli 0 – 2°C.

¹Estimated Off Block Time

²Calculated Take Off Time

³Postazione radio che fornisce le autorizzazioni di rotta, i re-routing, le autorizzazioni di messa in moto e fornisce informazioni di eventuali ritardi

De-Icing	Dati Airbus Kg	Dati ICAO Kg
2 motori	278,40	289,54
1 motore + warm up	163,20	169,73
eTaxi + warm up	48,00	49,92
Risparmio per ogni decollo	115,20	119,81

Tabella 4.9: Condizioni de-icing

Terzo rilievo - Condizioni di visibilità ridotta

Le condizioni di visibilità ridotta, sono situazioni abbastanza comuni e usuali a Milano Linate¹. Queste situazioni si presentano, spesso in autunno e inverno di mattina e di sera, in concomitanza con il picco di traffico. Si vuole dare l'idea di come le operazioni in queste circostanze influenzino i tempi di movimentazione degli aeromobili.

Le operazioni del controllo del traffico aereo sono influenzate dalle condizioni di visibilità, così come riportato dal controllore, ovvero in ordine peggiorativo:

condizione 1 visibilità sufficiente al pilota per rullare a vista evitando collisioni con altro traffico sulle taxiway e al personale ATC per esercitare a vista il controllo su tutto il traffico.

condizione 2 visibilità sufficiente al pilota per rullare a vista evitando collisioni con altro traffico sulle taxiway ma non sufficiente al personale ATC per esercitare a vista il controllo.

condizione 3 visibilità inferiore ad una RVR di 400 m.

Ad ogni condizione sono attribuiti determinati accorgimenti per salvaguardare la sicurezza, i quali hanno degli effetti negativi sulla scorrevolezza del traffico. In normali condizioni di lavoro, quindi condizione 1, il traffico che può essere gestito a Linate è di 34 movimenti/h o 20 arrivi/h con uno spaziamento tra successivi arrivi che può raggiungere le 3 NM; in condizioni 2, la capacità aeroportuale si riduce a 16 arrivi/h con spaziamenti di almeno 8 NM, il che fa supporre che un aeromobile, in generale necessiti di più tempo per essere pronto al decollo. Infatti da rilievi sul campo un velivolo prima del decollo tende ad effettuare il run-up², operazione che dura dai 30 ai 60s, inol-

¹Quest'anno, stranamente, sono state solo poche le ore di lavoro in condizioni con visibilità ridotta.

²L'aereo è in una posizione stazionaria al suolo, con la spinta dei motori mantenuta costante per un certo periodo di tempo.

tre la stop-bar T1³ sarà attivata e il raccordo J non sarà utilizzabile (limita in caso di avarie, l'uscita dalla pista da parte del velivolo che ha interrotto il decollo). È evidente che di conseguenza tutta la sequenza di partenza ne è influenzata.

In condizioni di LVP (4.2.4) gli aeromobili in rullaggio per il decollo saranno autorizzati al T2 (stop-bar accesa) e solo in assenza di arrivi al T1 (sempre con stop-bar accesa). La condizione di visibilità più limitante è la 3. In queste condizioni gli aeromobili in rullaggio dovranno muoversi per punti (uno e uno solo per punto intermedio) fino al T2, la durata del rullaggio così si allunga notevolmente e anche il consumo di carburante in quanto sono una serie di accelerazioni per ripartire da ogni punto (il rullaggio elettrico potrebbe essere di notevole utilità). La capacità aeroportuale scende a 10 arrivi/h con spazamenti di 16 NM. Tenendo conto che, i velivoli in arrivo in queste condizioni di visibilità, mantengono delle velocità particolarmente basse, il mancato decollo prima dell'arrivo si ripercuote su tutta la sequenza di decollo, aumentando l'attesa e il consumo di carburante. Bisogna sottolineare che il controllore del traffico aereo può autorizzare un decollo, con la ragionevole certezza che l'aeromobile decollato non influisca con il segnale ILS di precisione del velivolo in arrivo, quindi il velivolo in decollo deve già aver superato le antenne del sistema di avvicinamento (LLZ) prima che l'aereo in arrivo abbia oltrepassato le 2 NM dalla pista.

4.2.4 LVP - Low Visibility Procedures

Generalità

L'effettuazione di operazioni in bassa visibilità (LVO) è subordinata dalla predisposizione ed all'attivazione di una serie di misure atte a garantirne la sicurezza. Tali misure ed azioni costituiscono le procedure ATS (Servizio del Traffico Aereo) aeroportuali in bassa visibilità (LVP). Le LVP sono inserite in un Piano Locale, promulgato con Ordinanza del Direttore Aeroportuale. Tali ordinanze, alla luce delle previsioni della Circolare ENAC APT-19, devono essere riportate o richiamate nel Regolamento di Scalo di ogni aeroporto, l'adozione del quale è soggetta all'autorità della Direzione Aeroportuale [8].

Il Piano deve, tra l'altro, specificare:

- le componenti del sistema aeroportuale che partecipano alla predisposizione ed il livello di efficienza che deve essere garantito (Gestore Ae-

³Barra luminosa di colore rossa (accesa) azionata dal controllore che limita il punto attesa della pista.

roportuale, responsabili degli aiuti radioelettrici, visivi e meteo, Vigili del Fuoco, Forze di Pubblica Sicurezza, Sanità aeroportuale, ecc.);

- le procedure con le quali le singole componenti aeroportuali notificheranno all'ente ATC di essere pronte per l'attivazione delle operazioni nella categoria richiesta o necessaria, oppure notificheranno eventuali inefficienze che determinino impedimenti ad effettuare operazioni nella specifica categoria.

Gli enti ATS sviluppano la parte di propria competenza del Piano Locale per ogni aeroporto, elaborando le LVP.

ENAC determina le minime operative aeroportuali, tenendo in considerazione un ampio numero di fattori, riconducibili a:

- caratteristiche, operatività ed affidabilità degli apparati di terra;
- caratteristiche ed equipaggiamento dell'aeromobile;
- procedure stabilite dalle compagnie e livello di esperienza ed addestramento degli equipaggi di condotta.

Al fine di consentire le operazioni di avvicinamento e/o decollo ad un livello di sicurezza richiesto, gli operatori devono inoltre stabilire, per ogni aeroporto pianificato per l'impiego, minime operative non inferiori ai valori minimi base stabiliti dall'ENAC. Tali minime (la cui applicazione è di competenza dell'equipaggio di condotta), espresse in termini di visibilità al suolo, visibilità di pista (RVR¹), base delle nubi o ceiling² e altitudine/altezza di decisione, si differenziano in relazione alla tipologia di operazione.

Le operazioni degli aeromobili con riferimento visivo limitato necessitano di installazioni, servizi, procedure sugli aeroporti e procedure speciali per la condotta dell'aeromobile. Tale sistema è caratterizzato da una ridondanza degli apparati e da un monitoraggio continuo della loro efficienza ed è capace di guidare l'aeroplano fino all'altezza di decisione e, quando possibile, anche durante la fase di atterraggio e successiva corsa di decelerazione (roll-out). Le procedure in bassa visibilità di competenza degli enti ATS possono essere assicurate esclusivamente da una torre di controllo di aeroporto. Non avendo l'ATC dati certi, ad esclusione delle minime operative di aeroporto pubblicate e dei valori da rapporto meteorologico locale, il controllore deve:

¹Runway Visual Range, Portata Visuale di Pista.

²Altezza, al di sopra del suolo o dell'acqua, della base del più basso strato di nubi al di sotto di 20000ft che copre più della metà del cielo.

- se le altre condizioni (es. situazione di traffico, funzionamento degli apparati) lo consentono, autorizzare comunque l'aeromobile all'avvicinamento, chiedendo di riportare l'outer marker³, o la posizione equivalente in accordo alla procedura pubblicata;
- da questo punto:
 1. se il valore da riporto meteorologico locale è pari o superiore alla minima operativa di aeroporto, fornire le normali autorizzazioni ed informazioni;
 2. se il valore da riporto meteorologico locale è, o scende, al di sotto della minima operativa di aeroporto, informare il pilota. Se quest'ultimo decide di continuare l'avvicinamento, ed eventualmente di atterrare, non emettere autorizzazioni, ma fornire ogni informazione pertinente (es. situazione di traffico, pista libera).

Predisposizione LVP La predisposizione delle procedure in bassa visibilità, sia per gli avvicinamenti ed atterraggi sia per i decolli, deve essere effettuata, in presenza di condizioni meteorologiche in via di peggioramento, con:

- RVR alla TDZ⁴ $\leq 800m$; o
- base delle nubi nel settore di avvicinamento = $200ft$ (in mancanza di tale misurazione si farà riferimento al ceiling = $200ft$).

Attivazione LVP L'attivazione delle LVP, sia per gli avvicinamenti ed atterraggi sia per i decolli, deve essere effettuata al verificarsi delle seguenti condizioni:

- RVR alla TDZ $\leq 550m$; oppure
- base delle nubi nel settore di avvicinamento $< 200ft$ (in mancanza di tale misurazione si farà riferimento al ceiling $< 200ft$).

³Radiofaro (più lontano) posto ad una determinata distanza dalla pista (da 3,9 NM a 6 NM).

⁴Touchdown zone, Zona di contatto dell'a/m sulla pista

Disattivazione/Cancellazione LVP Quando le condizioni meteo superano i valori previsti per l'attivazione delle LVP si procede alla disattivazione. Quando le condizioni meteo superano i valori previsti per la predisposizione delle LVP per un periodo di almeno *20min*, anche la predisposizione deve essere cancellata. Se le condizioni meteo vanno rapidamente migliorando le procedure possono essere cancellate senza attendere il trascorrere dei *20min*, basandosi sull'esperienza dell'aeroporto e/o sul TAF⁴.

Lo schema di Figura 4.4 rappresenta la corrispondenza tra le fasi LVP (predisposizione, attivazione, disattivazione, cancellazione), di competenza ATS, e le diverse operazioni che gli aeromobili possono condurre.

FASE LVP	RVR (m)	CATEGORIA
	900	
PREDISPOSIZIONE RVR TDZ ≤ 800 m o Base Nubi/Ceil = 200 ft	800	CAT I
	750	
	700	
	650	
	600	
ATTIVAZIONE RVR TDZ ≤ 550 m o Base Nubi/Ceil < 200 ft	550	CAT II
	500	
	450	
	400	
	350	LVTO
	300	
	275	
	250	
	200	
	175	
	150	
	125	
	100	
75	CAT III	
50		
25		
0		

Figura 4.4: Schema riassuntivo

Dati

I dati raccolti si riferiscono a condizioni di visibilità 2 con LVP attive, quindi gli aeromobili in decollo si allineavano dal punto attesa T2 senza limitazioni procedurali durante il rullaggio.

⁴Aerodrome forecast, Previsione di aeroporto

Self Maneuvering	Dati Airbus Kg	Dati ICAO Kg
2motori	201,33	209,39
1motore + warm up	124,67	129,65
Risparmio per ogni decollo	76,67	79,73

Tabella 4.10: Condizioni LVP: self maneuvering

Push-Back	Dati Airbus Kg	Dati ICAO Kg
2motori	223,38	232,32
1motore + warm up	135,69	141,12
Risparmio per ogni decollo	87,69	91,20

Tabella 4.11: Condizioni LVP: push-back

Quarto rilievo - Neve sul campo

La raccolta dati non è stata soddisfacente. Le uniche neviccate della stagione invernale (2)¹ sono avvenute o in ore che storicamente non sono mai trafficate oppure non tali da creare un consistente accumulo. Si vogliono comunque riportare i dati ottenuti per dare una stima dei tempi e dei possibili disagi che una situazione del genere può causare. L'approccio operativo è lo stesso del de-icing, ovviamente, variano i tempi del trattamento di rimozione della neve sulle superfici dell'aeromobile e la durata dipende anche da quanto l'aeromobile è al suolo e quindi dal tipo di accumulo a cui è soggetto. Velivoli soggetti solo al turn-around, in quanto appena arrivati, avranno dei tempi inferiori rispetto a quelli in sosta notturna. In questo caso un sistema di rullaggio alternativo (sul carrello), per via delle condizioni di slittamento al suolo, potrebbe essere utilizzato in modo complementare con un motore in funzione in modo tale da contenere i costi ma allo stesso tempo non perdere trazione.

Si nota subito che, stranamente a quanto dovrebbe essere, i tempi necessari per il rullaggio, lo sghiacciamento e la rimozione neve sono stati più lunghi per i velivoli parcheggiati negli stand self-maneuvering. Il motivo di questa anomalia è dovuto al fatto che alcuni aeromobili, che stazionavano ai

¹giorno 27/12/2014 dalle ore 09:00 locali alle ore 16:00 e giorno 05/02/15 dalle ore 15:00 alle ore 23:00

Media	
Taxi No Push [min]	Taxi Push [min]
37,2	30,6
Mediana	
Taxi No Push [min]	Taxi Push [min]
43	31

Tabella 4.12: Condizioni di neve sul campo: tempi

finger, erano da poco arrivati e altri invece hanno iniziato le procedure di messa in moto quando alcune operazioni di base erano già a regime (inoltre i dati a disposizione di questi velivoli sono notevolmente inferiori).

Self Maneuvering	Dati Airbus Kg	Dati ICAO Kg
2motori	446,18	464,03
1motore+eTaxi+warm up	247,09	256,97
Risparmio per ogni decollo	199,09	207,05

Tabella 4.13: Condizioni di neve sul campo: self maneuvering

Push-Back	Dati Airbus Kg	Dati ICAO Kg
2motori	366,86	381,53
1motore+eTaxi+warm up	207,43	215,73
Risparmio per ogni decollo	159,43	165,81

Tabella 4.14: Condizioni di neve sul campo: push-back

Nella tabella sono riportati i valori di consumo stimati, sia con i valori forniti da Airbus sia con quelli forniti dall'ICAO. In questo caso si è ipotizzata una procedura ibrida di rullaggio con eTaxi e con 1 motore in funzione (si considerano sempre i 4 minuti di warm-up).

Il problema della neve introduce delle procedure complesse tra cui la rimozione della neve dalla pista e dai piazzali e lo sfruttare appieno delle piazzole di de-icing. Inoltre il decollo deve avvenire entro un tempo massimo

dallo sghiacciamento altrimenti l'a/m è obbligato a ripetere l'operazione, aggiungendo ritardi e problemi di sequenza e di organizzazione del piazzale. Situazioni simili si verificano all'ingresso dei mezzi spazzaneve e dei spargitori di liquido ritardante in pista, operazione lunga anche se pianificata e gestita coordinando con i diversi enti aeroportuali, situazione comunque mai priva di disagi. I tempi di rullaggio considerati sono comprensivi della permanenza nella piazzola di de-icing e sono riportati senza considerare il ritardo alla messa in moto, comunicato dalla posizione delivery, al primo contatto radio.

	[min]
T. medio de-icing	13,8
T. medio A318	7
T. medio A319	15
T. medio A320	14,3
T. medio A321	15,5

Tabella 4.15: Tempi medi per tipo di aeromobile

Nella tabella si sono riportati i valori medi di de-icing, suddivisi per il tipo di aeromobile. Il tempo medio di permanenza è di 13,8 min e un A320 o A319, che hanno pressoché le stesse dimensioni, hanno un tempo di permanenza simile. La permanenza sensibilmente inferiore del A318, solo Air France utilizza questo velivolo a Linate, è solo una coincidenza per via del numero esiguo di valori a disposizione (statisticamente insignificante). Il A321, pur avendo la stessa superficie alare dei precedenti, è più lungo di circa 7 metri e si suppone che sia questo il motivo di un de-icing mediamente più lungo.

4.2.5 Analisi più approfondita

La stima del consumo di carburante di un aeromobile gioca un ruolo di rilievo nel determinare l'impatto delle operazioni così come la stima dei benefici delle varie procedure. I valori del consumo di carburante possono essere dedotti dai valori di consumo riportati nel datasheet dell'ICAO periodicamente aggiornato. I valori forniti dall'International Civil Aviation Organization riportano solo i consumi a quattro diversi indici di potenza:

1. al 7% della manetta, condizione di Idle
2. al 30%, configurazione di avvicinamento finale

3. al 85%, condizione di salita iniziale
4. al 100% condizione di massima potenza al decollo.

I dati sono stime fornite dai produttori dei propulsori e spesso differiscono dai dati rilevati sul campo. Per poter stimare il consumo di carburante non basta considerare i valori forniti dalle aziende in quanto i valori non rispecchiano quelli dei motori realmente utilizzati dalle compagnie, i quali sono soggetti ad un uso frequente. Come già detto, i motori sono testati solo ad alcune potenze e il valore al 7% è quello che comunemente viene utilizzato per il calcolo del consumo in rullaggio. Inoltre è evidente che il contributo del pilota, le sue caratteristiche di pilotaggio e le condizioni di utilizzo sono cruciali per la corretta determinazione dei consumi. Per esempio, ci si è resi conto, al termine di numerose interviste, che alcuni piloti, per dare precedenza ad altro traffico, preferiscono utilizzare i freni senza agire sulla manetta, altri preferiscono ridurre la potenza rallentando solamente il necessario per assolvere l'istruzione ricevuta. Ovviamente nessun possibile modello può considerare questo tipo di dinamiche e inoltre spesso il rapporto tra la potenza e il flusso di carburante non è lineare.

In definitiva l'approccio migliore è l'analisi dei dati ottenuti dal FDR¹. Per problemi di sicurezza (a detta delle compagnie), non abbiamo a disposizione questi tipi di dati. L'analisi procederà considerando uno studio effettuato dal MIT² in cui hanno analizzato i dati registrati nel FDR di un consistente numero di voli, circa 552 tratte tra A319, A320 e A321 [13].

Il combustibile totale consumato è in funzione del numero di volte che il velivolo deve fermarsi e quindi ridare potenza (break away power), del numero di curve che deve effettuare oltre alla durata del taxi. Le interruzioni del rullaggio, simili tra loro come effetti, sono come aggiungere un definito valore di penalizzazione di combustibile risultando in un effetto lineare al numero di fermate, così come gli aggiustamenti di manetta per le curve. Il valore del consumo totale di carburante può essere così espresso:

$$\frac{f}{\sqrt{T_{amb}}} = a_1 + b_1 t + c_1 n_{stop} + d_1 n_{turn}$$

considerando T_{amb} la temperatura ambiente alla quale si è normalizzato, n_{stop} numero di fermate e n_{turn} numero di curve. I valori a_1 , c_1 e d_1 devono essere

¹Flight Data Recorder

²Massachusetts Institute of Technology

ricavati, b_1 è il coefficiente base di consumo e infatti è direttamente in relazione con t , il tempo totale di rullaggio.

a/m	a_1 [$\frac{Kg}{\sqrt{K}}$]	b_1 [$\frac{Kg}{s\sqrt{K}}$]	c_1 [$\frac{Kg}{\sqrt{K}}$]	d_1 [$\frac{Kg}{\sqrt{K}}$]
A319	-0,01	0,0124	-0,01	-0,02
A320	-0,26	0,0125	0,1	-0,02
A321	-0,19	0,0133	0,15	-0,05

Tabella 4.16: MIT: primo approccio

Si sottolinea che, per ogni valore calcolato, è stato valutato il $p - value$ per fornire un valore significativo allo studio. I valori di d_1 hanno $p - value$ fuori dal valore statisticamente significativo.

Un altro approccio considerato è quello di esprimere il modello in funzione del numero di accelerazioni a cui è soggetto il velivolo. Questo aspetto caratterizza di più il vero comportamento del velivolo in rullaggio. La necessità di questo modello deriva dall'analisi dei valori ottenuti precedentemente, in quanto ci si è resi conto che le grandezze statistiche $p - value$ riferite alle fermate e alle curve differivano troppo tra i vari aa/mm e quindi altri elementi entravano in gioco come ad esempio il comportamento del pilota. Si è quindi effettuata un'altra formulazione:

$$\frac{f}{\sqrt{T_{amb}}} = a_2 + b_2 t + c_2 n_{accelerazioni}$$

con a_2 e c_2 da determinare e b_1 è il coefficiente base di consumo esattamente come prima.

Si riportano i valori dei coefficienti:

Si nota subito che i valori dei coefficienti b , non differiscono di molto (come ci si aspettava visto che corrispondono al consumo base durante il taxi) mentre l'elemento di rilievo è il coefficiente c_2 relativo al numero di accelerazioni.

Si riportano in tabella le osservazioni fatte durante il rullaggio degli aeromobili in funzione del loro stand di partenza. Si nota che la differenza del numero di stop e di accelerazioni non è marcata.

a/m	a_2 [$\frac{Kg}{\sqrt{K}}$]	b_2 [$\frac{Kg}{s\sqrt{K}}$]	c_2 [$\frac{Kg}{\sqrt{K}}$]
A319	0,0811	0,0122	0,0965
A320	-0,0896	0,0124	0,1174
A321	0,0942	0,0129	0,0832

Tabella 4.17: MIT: secondo approccio

Posizione parcheggi	n. stop	n. curve	n. accelerazioni
Linea 1-5	1	2	2
Linea 6-12 e 61-69	2	3	3
Linea 14-22	1	1	2
Linea 62-72	2	3	3

Tabella 4.18: Fermate ed accelerazioni

Nella tabella sono riportati i valori, considerando la necessità di dover effettuare il de-icing. La rilevazione è stata effettuata considerando un solo aeromobile, nel caso in cui i movimenti siano più di uno, e quindi venga impostata una sequenza, il numero di fermate e di accelerazioni aumenta del numero in sequenza in cui il velivolo si trova.

Posizione parcheggi	n. stop	n. curve	n. accelerazioni
Linea 1-5	3	3	4
Linea 6-12	3	3	4
Linea 14-22	3	4	4
Linea 62-72	2	2	3

Tabella 4.19: Fermate ed accelerazioni

Nel caso di LVP e di movimenti non contigui, il numero di fermate è in relazione alla posizione del suo parcheggio. Ad esempio se un aeromobile è parcheggiato allo stand 6 il numero di fermate è di 6 (sono infatti 6 i punti intermedi che separano lo stand dal punto attesa della pista HP T2: $D1$, $D2$, $T5$, $T4$, $T3$ e $T2$) nel caso in cui fosse al 16 sarebbero 5.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori ottenuti con le due formulazioni, considerando come temperatura ambiente quella alla quale sono state effettuati i test dei motori; i valori dei tempi di taxi sono quelli calcolati

I formulazione	cond. std.	De-Icing
Posizione parcheggi	Consumo [Kg]	Consumo [Kg]
Linea 1-5	162	376
Linea 6-12	138	459
Linea 14-22 e 61-69	143	456
Linea 62-72	160	377

Tabella 4.20: Consumi

II formulazione	cond. std.	De-Icing
Posizione parcheggi	Consumo [Kg]	Consumo [Kg]
Linea 1-5	172	388
Linea 6-12	152	471
Linea 14-22 e 61-69	150	471
Linea 62-72	174	386

Tabella 4.21: Consumi

Confrontando le due formulazioni, il consumo, con il secondo modello, è maggiore mediamente del 7% in condizioni operative standard e del 3% in caso di de-icing. Analizzando il primo modello si constata che, nel caso delle linee 14-22 e 61-69, il consumo dovrebbe aumentare e non diminuire in caso di de-icing; questo si ha a causa di quanto detto precedentemente del p -value che ha portato un errore nel calcolo dei coefficienti. Negli altri casi questo errore si nota meno in quanto il numero di curve è inferiore e la durata del taxi incide di più. Nel secondo modello si nota che la linea di parcheggi più agevolata in condizioni standard diviene la più penalizzata in caso di de-icing (a parità di taxi time). Questo perché i velivoli sono costretti a manovrare di più e ad accelerare il doppio delle volte come si può dedurre dalla figura 4.1. Gli aeromobili situati negli stand dal 62 al 72 sono quelli che avranno il minor impatto in quanto effettuano il push-back in prossimità delle piazzole di sghiacciamento.

4.3 Manutenzione

La corretta manutenzione di un aeromobile, utilizzato per il servizio commerciale viene effettuata seguendo, in maniera rigida, il Maintenance Planning Document (MPD) fornito dal costruttore del velivolo. L'MPD è un manuale in cui è riportato il programma di manutenzione secondo i criteri fissati dal costruttore e rivisti periodicamente in base all'esperienza che le compagnie aeree riportano su quel tipo di velivolo; l'MPD è certificato ed approvato dalle autorità competenti in materia. La manutenzione che si effettua principalmente sui velivoli è di tipo preventivo, ovvero legata al numero di ore di funzionamento dell'aeromobile e viene effettuata indipendentemente dalle condizioni d'uso della macchina. La manutenzione a tempo viene comunemente indicata con la sigla TBO (Time Between Overhauls, Tempo tra due revisioni) e viene effettuata secondo intervalli di tempo indicati sull'MPD. Per le parti, la cui durata è legata soprattutto ai cicli di funzionamento, viene effettuata la cosiddetta manutenzione ciclica. Su alcuni apparati, che non risultano essere critici per la sicurezza del volo, durante la loro vita operativa vengono effettuati dei controlli "on condition", cioè l'apparato non viene smontato, ma ne viene semplicemente testata la funzionalità. Nel caso in cui parti dell'aereo abbiano un funzionamento inferiore agli standard, viene effettuata la sostituzione o la riparazione. In questo caso si parla di manutenzione correttiva, di solito viene effettuata per le parti che non compromettono in maniera grave la sicurezza del volo. Per mantenere elevato il margine di sicurezza sulla struttura del velivolo a terra ed in volo si stabiliscono le soglie per la prima ispezione e per le ispezioni successive studiando il problema delle sollecitazioni di fatica. Determinante è la scelta del tipo di controllo non distruttivo adottato per la rilevazione e la misura della dimensione delle cricche e dei danneggiamenti in base alla quale vengono stabiliti gli intervalli di ispezione. L'integrità strutturale è ridotta ulteriormente se alle sollecitazioni di fatica si aggiunge l'azione concomitante della corrosione che accelera il processo di degrado della struttura. A tale scopo sono stabiliti dei programmi di manutenzione che permettono di controllare i fenomeni di fatica in modo che tale tipo di danneggiamento sia individuato tempestivamente prima che sopraggiunga il collasso strutturale.

4.3.1 Programmi di manutenzione

Il programma di manutenzione nasce dall'analisi degli interventi necessari da effettuare sugli aeromobili. Si distinguono tre tipi di interventi di manutenzione in funzione delle attività svolte cui corrispondono frequenze, costi e durate differenti:

- Line Maintenance;
- Light Maintenance;
- Heavy Maintenance.

La Line Maintenance si divide in:

1. Pre-flight inspections: ispezione eseguita prima di ogni volo e prevede una serie di controlli quali la verifica di eventuali avarie segnalate durante i voli precedenti, verifica delle condizioni generali del rivestimento di fusoliera, verifica dei carrelli e dei freni, verifica delle semi-ali, verifica degli impennaggi, verifica dei motori.
2. Post-flight inspections: ispezione eseguita dopo ogni volo, di qualsiasi durata esso sia, consiste nelle stesse verifiche effettuate durante la fase di pre-volo, con l'aggiunta di particolari ispezioni nella cabina piloti.
3. Transit checks: utilizzata al posto dell'ispezione post-volo per gli aeromobili a lungo raggio, è composta essenzialmente da controlli di filtri e livelli olio, antenne, filtri idraulici, carrelli ed equipaggiamenti di emergenza.
4. Daily checks: ispezione effettuata quando la sosta dell'aeromobile è superiore alle tre ore, deve essere comunque eseguita entro le 24-36 ore dall'ultima ispezione giornaliera. Vengono ispezionati la cabina piloti e la cabina passeggeri, i dispositivi di emergenza, i sistemi di ventilazione, i sistemi idraulici, carrelli, compartimenti elettrici ed elettronici.
5. Weekly checks: ispezioni effettuate ogni sette giorni e comunque non oltre le 192 ore, vengono controllati bagagliai anteriore, centrale e posteriore, vano carrelli, cabine piloti e passeggeri, serbatoi carburante, fusoliera e impennaggi.

La Light Maintenance si divide in:

1. Check A: controllo preventivo che si effettua con più frequenza, l'intervallo di tempo che trascorre tra un check ed il successivo dipende dal modello di aereo. Il velivolo viene portato in un hangar opportunamente attrezzato e, in 24 ore, viene sottoposto ad oltre 400 controlli da parte dei diversi operatori specializzati. I controlli riguardano la cabina passeggeri, la struttura esterna ed interna, i piloni dei motori, le ali e le superfici mobili. Vengono anche controllati i motori in tutte le condizioni di funzionamento.

2. Check B: controllo effettuato ogni 2000 ore di volo, risulta essere il controllo più approfondito, dura circa 4 giorni. Rispetto all'ispezione A i controlli sono più accurati soprattutto sui motori e sulla struttura, così come sugli impennaggi e sulle ali, in particolare le parti costituite da materiali compositi.

La Heavy Maintenance si divide in:

1. Check C: intervento di manutenzione previsto ad intervalli che vanno dalle 3500 alle 5400 ore di volo oppure tra 15 e 18 mesi, si tratta di un controllo molto importante nella vita di un aereo a può durare da 8 a 15 giorni a seconda del velivolo. Gli interventi comprendono tutti quelli previsti dall'ispezione A e B, più una serie di interventi particolari. Vengono effettuati controlli non distruttivi sui piloni che sostengono i motori.
2. Check D (o Revisione): il più complesso ed impegnativo degli interventi di manutenzione e viene programmato ad intervalli variabili che vanno dalle 18000 alle 26000 ore di volo, oppure di 66 ai 108 mesi di funzionamento. L'aeromobile viene revisionato in ogni sua parte ed il lavoro può durare dai 35 ai 60 giorni. L'aereo viene sverniciato in modo da mettere a nudo le lamiere per verificarne l'integrità, vengono revisionati ed eventualmente sostituiti i propulsori, i serbatoi vengono aperti, ventilati ed ispezionati accuratamente. Dopo tale tipo di manutenzione viene fatto un test di volo della durata di oltre 3 ore al termine delle quali l'aeromobile viene rimesso in linea di volo pronto per riprendere il servizio commerciale.

Tutte le operazioni eseguite dal personale sono sempre registrate con firma e, per alcune di esse, con un numero che identifica il codice di certificazione da parte dell'ENAC.

A320

Per dare un'idea dell'incidenza delle manutenzioni sulla vita operativa di un velivolo, si è considerato, come spesso in questo testo, l'A320 motorizzato CFM come riferimento. Si è analizzato, per le parti considerate importanti relative all'eTaxi, il Maintenance Planning Document fornito da Airbus [22] per i velivoli A318, 319, 320, 321. Per prima cosa, l'utilizzo di un sistema alternativo potrebbe allungare i tempi tra le manutenzioni dei motori. Il MPD suddivide la manutenzione del motore a seconda delle parti interessate ad esempio una specifica del motore, una riguardante i sistemi di alimentazione

del motore, sistema di avvio, sistema di lubrificazione ecc. Per quanto riguarda il propulsore, il MPD, si riferisce generalmente a cicli di funzionamento e non ad ore di funzionamento, questo quindi è uno step obbligato che non può essere posticipato da un sistema di rullaggio elettrico. Ad esempio [22]:

- ispezione dettagliata del fan: engine inlet, pale del fan, fan outlet [ogni 1500 cicli o 24 mesi]
- ispezione dettagliata speciale del compressore di alta pressione [ogni 10000 cicli]
- ispezione dettagliata della zona di combustione [ogni 1600 cicli]

Più sensibili potrebbero essere tutte quelle manutenzioni basate sulle ore volate. Per quanto riguarda ad esempio engine fuel and control:

- in generale [ogni 1200 ore di volo]
- check e ispezione dettagliata [ogni 4000 ore di volo], sostituzione filtri dopo la consegna del velivolo [ogni 150, 750, 1500 ore di volo]
- interfacce funzionali [ogni 30000 ore]

Il sistema di raffreddamento viene analizzato ogni 7500 ore, il sistema di accensione viene ispezionato nel dettaglio (chip) ogni 600 ore, viene rabboccato d'olio ogni 600 e il cambio d'olio avviene ogni 1200 ore di volo.

Altro apparato molto utilizzato, soprattutto nel caso di eTaxi, è l'APU. Airbus per quanto riguarda il modello GTCP 36-300 comunemente montato sugli A320 odierni, ha un intervallo di manutenzione dettagliata di 80 mesi (rivestimento termico, vibrazioni, sospensioni e collegamenti) e dei collegamenti alla struttura (tie-rod fork) ogni 600 ore. Inoltre, altri componenti, come la paratia antifiamma (ecc), vengono ispezionati ogni 20 mesi e le prese d'aria ogni 40. Si evince che la manutenzione dell'APU è meno invasiva nella vita operativa del velivolo ed anche meno costosa.

Proviamo ora a valutare quanto tempo viene risparmiato nell'uso di un sistema elettrico di taxi e quindi a stimare di quanto può slittare la manutenzione programmata.

I valori sopra riportati sono basati sui tempi di rullaggio di un velivolo medio, così come riportato dalla IATA, per un uso giornaliero di sei tratte. È evidente che il risparmio ottenuto moltiplicato per un anno di attività (circa 300 giorni con questa frequenza giornaliera) potrebbe tornare utile per l'impiego

Aeroporto	ICAO	media	tempo risp.
Amburgo	EDDH	9	30
Colonia	EDDK	9	30
Dusseldorf	EDDL	12	48
Monaco	EDDM	13	54
Stoccarda	EDDS	10	36
Manchester	EGCC	14	60
L. Luton	EGGW	13	54
L. Gatwick	EGKK	15	66
L. Heathrow	EGLL	19	90
L. Stansted	EGSS	13	54
Tolosa	LFBO	9	30
Lione	LFLL	10	36
Marsiglia	LFML	10	36
Nizza	LFMN	10	36
Parigi de G.	LFPG	14	60
Parigo Orly	LFPO	11	42
Barcellona	LEBL	14	60
Madrid	LEMD	16	72
P. Maiorca	LEPA	11	42

Tabella 4.22: Risparmio tempi

del velivolo risparmiando o comunque posticipando le ore di fermo macchina. Un velivolo A320, di base a Linate, che effettua 3 tratte (quindi sei voli) verso capitali europee ad esempio: Londra, Madrid e Parigi, risparmierebbe 46 minuti di uso dei motori, 552 Kg di combustibile o nel caso di taxi con un solo motore, 276 kg sempre considerando i dati IATA, che come si è potuto riscontrare sul campo, differiscono per difetto (almeno per Linate) dalla realtà. Si vuole sottolineare, inoltre, che una possibile avaria del sistema di taxi elettrico, è comunque poco invasiva ai fini operativi in quanto l'aeromobile potrebbe procedere con la classica procedura di rullaggio; si immagina quindi che, anche la manutenzione, non sia "invasiva" come per altri sistemi e collocata all'interno di una manutenzione schedulata di maggior rilievo. Da dati forniti da WheelTug, il costo orario di manutenzione di un motore è di 175\$ o $2.90 \frac{\$}{min}$

4.4 Emissioni

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 fu 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 (CO_2) per il trasporto aereo attraverso l'ICAO. Nel febbraio 2004, l'ICAO ha pubblicato la circolare 303 AN/176 diretta agli Stati ed agli operatori interessati, con l'obiettivo di raccomandare le varie scelte operative e le esistenti tecniche disponibili per minimizzare il consumo di combustibile, e quindi le emissioni, nelle operazioni dell'aviazione civile. Tuttavia, nessun accordo è stato raggiunto. Nel 2010 una risoluzione dell'ICAO ha stabilito un obiettivo facoltativo relativo all'efficienza nei consumi di carburante, da raggiungersi entro il 2050 [17]. I limitati progressi conseguiti dall'ICAO ha spinto l'Unione Europea ad agire unilateralmente, includendo le emissioni dell'aviazione nel sistema comunitario di scambio delle quote di emissioni dei gas ad effetto serra (cosiddetto EU ETS¹).

Il sistema aviazione a livello aeroportuale, può influenzare l'ambiente anche con il contributo dell'ossido di azoto (NO_x), del 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 CO_2 , l'attenzione del CAEP (Committee on Aviation Environmental Protection) si è

¹Europe Emissions Trading System

rivolta in prima battuta a ridurre la produzione di anidride carbonica individuando le misure che comportano la riduzione del combustibile bruciato. 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 [16].

4.4.1 Valutazione delle emissioni

La valutazione delle emissioni e dell'inquinamento, prodotto da un aeromobile al suolo, non è semplice. Il suo impatto con l'ambiente circostante non è isolato a se stesso, si dovrebbero considerare molteplici fattori come l'energia necessaria al suolo quando ha i suoi generatori e/o motori spenti e il traffico dei mezzi che lo servono durante il turn-around. Le emissioni di gas di un velivolo dipendono direttamente dalla combustione all'interno dei suoi propulsori e dell'APU.

I test per la certificazione delle emissioni avvengono utilizzando un motore su banco di prova. La misurazione delle performance e delle emissioni del motore avviene effettuando un gran numero di test a differenti potenze, coprendo tutto il range di funzionamento, dall'idle fino al 100%, i valori ottenuti vengono riportati alle condizioni standard ISA a livello del mare. La certificazione ICAO delle emissioni CO , HC e NO_x associate con il flusso di carburante sono riferite a potenze prefissate (7%, 30%, 85%, 100%)[20], in generale calcolate in funzione del tempo, considerando la quantità di emissioni per Kg di combustibile bruciato.

CO Il carbonio è uno degli elementi che si combina con l'ossigeno durante la combustione; se il carbonio si combina con sufficiente ossigeno si trasforma in anidride carbonica (CO_2). L'anidride carbonica non è considerata un inquinante ma è anche il maggior responsabile dell'aumento dell'effetto serra, se l'ossigeno fosse insufficiente, la reazione produrrebbe monossido di carbonio (CO) pericoloso per l'ambiente e letale per l'uomo.

HC Il combustibile è composto da idrocarburi, i due elementi idrogeno e carbonio sono bruciati durante la combustione in combinazione con l'ossigeno, ma purtroppo, non vengono totalmente consumati ed escono dalla camera di combustione sotto forma di gas (HC).

NO_x Gli ossidi di azoto sono un prodotto leggermente differente della combustione. La quantità e la qualità della miscela di NO_x dipende dalla sostanza combusta e dalle condizioni in cui la combustione avviene. Per limitare le emissioni di NO_x è fondamentale che la combustione

avvenga nel modo più uniforme possibile, evitando picchi di temperatura. Nel caso dei motori aeronautici, si forma il "Thermal NO_x ", poiché si è in presenza di elevate temperature e di una grossa quantità di ossigeno. Alcuni ossidi di azoto possono reagire con l'ossigeno convertendolo in ozono. Essi quindi influiscono sul riscaldamento terrestre. Il triossido ed il pentossido di azoto, invece, possono reagire con l'umidità atmosferica e produrre acido nitrico, presente nelle cosiddette piogge acide che cadono sulla superficie terrestre [19].

Durante la sequenza di partenza, le emissioni di NO_x prodotte, sono molto basse, rispetto al ciclo LTO, a causa delle temperature e pressioni del motore basse; le uniche emissioni che necessitano di essere considerate durante la sequenza di avviamento sono quelle di HC . L'avviamento del motore principale può essere generalmente suddiviso in due fasi: pre-ignition e post-ignition.

La fase di pre-ignition rappresenta il momento in cui il motore viene messo in rotazione, le emissioni in questa fase sono solo idrocarburi.

A questo punto, in post-ignition, il processo di avviamento avviene in condizioni di basso carico del motore. Le emissioni dei motori, saranno principalmente di tipo HC e CO . Dopo l'accensione, con il funzionamento a basso carico del motore, dominano le emissioni di HC ; per questo motivo non è irragionevole attribuire le emissioni al solo HC . Bisogna però specificare che, in alcuni casi e per alcuni motori, le emissioni di CO potrebbero anche essere superiori di quelle HC stimate.

Il combustore sta ora bruciando combustibile, quindi il flusso di combustibile, da ora, deve essere considerato per determinare con precisione le emissioni. ICCAIA¹ ha sviluppato, sulla base dei dati delle maggiori case produttrici di motori aeronautici, un metodo per stimare le emissioni di start-up, che si basa sulla potenza al decollo del motore in questione. L'equazione lineare è:

$$StartingEmissions_{HC}(g) = TakeoffThrust_{(KN)}/2 + 80$$

Considerando un caso generale, A320 con motori CFM56-5B4/P, le emissioni di HC , alla messa in moto di un motore con i dati forniti da ICAO, sono di:

$$140.6g$$

A questo punto è necessario valutare le emissioni totali per il rullaggio. Per fare ciò si è sfruttato il metodo utilizzato nel progetto ALAQS

¹International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations: organizzazione internazionale delle associazioni delle industrie aerospaziali

(Airport Local Air Quality Studies) sviluppato dal Experimental Centre di Eurocontrol:

$$AC_e = FF_{mode} * EF_{mode} * T * N$$

con

AC_e Emissioni totali dell'a/m per ciclo LTO²

FF_{mode} Flusso di combustibile per motore [$\frac{Kg}{s}$]

EF_{mode} Fattore di emissione per motore [$\frac{g}{Kg}$]

T Tempo [s]

N Numero di motori

A differenza di quanto riportato il nostro calcolo non è stato effettuato per tutto il ciclo LTO (4.4.2) ma solo per la fase di movimentazione al suolo.

Si sono calcolati i consumi per tutte le fasi, a partire dai 15 minuti prima della messa in moto fino al decollo. Nel calcolo si è considerato un tempo di 10 min con l'APU in funzione, nella condizione di Ready to Load e nella condizione di massimo consumo elettrico [3], ipotizzato dal fatto che l'equipaggio è a bordo e sta effettuando i controlli (programmando la rotta, analizzando il piano di volo, ecc). I 5 minuti precedenti la messa in moto sono quelli in cui i passeggeri sono a bordo e il condizionamento dell'aria è in funzione, e quindi si è considerato il massimo carico dell'APU [29]. La durata del push-back riportato e utilizzato è quello medio ottenuto da osservazioni a Linate (è un valore medio e non si sono fatte nè distinzioni di compagnie nè di velivoli). Sono state calcolate inoltre, le emissioni in grammi per ogni fase e messo in relazione le varie procedure di taxi. I valori ottenuti per eTaxi, infine, sono stati calcolati considerando il massimo consumo dell'APU come logico aspettarsi.

È stato aggiunto anche il possibile utilizzo dell'eTaxi abbinato all'uso di un motore. Per le situazioni a bassa aderenza, si è ipotizzato che per la forte richiesta di potenza elettrica il funzionamento dell'APU duri, a massima potenza, per tutto il rullaggio. Alle emissioni totali di HC devono essere sommate quelle della fase di messa in moto.

Si evince, dalla tabella, che il risparmio con procedure diverse potrebbe portare ad un sostanziale risparmio. I valori di emissioni di NO_x maggiori, sono dovuti al fatto che l'APU è in funzione a pieno regime.

Il calcolo è stato effettuato considerando i valori delle emissioni dichiarati dalle case produttrici dei propulsori, divulgate da ICAO [21]. Si riporta, inoltre, l'andamento delle stesse in funzione della potenza erogata.

²Landing-Take off

Fase	Durata [min]	Elemento	Consumo [Kg]	Emissioni		
				HC [g]	CO [g]	Nox [g]
Pre-start	10,00	Apu	14,17	2,83	12,75	396,67
Max Load	5,00	Apu	10,42	2,08	9,38	291,67
Push-back	1,77	Apu	3,69	0,74	3,32	103,32
Taxi	7,82	eTaxi	16,29	3,26	14,67	456,25
		1 motore	48,81	224,51	1142,05	209,86
		2 motori	97,61	449,01	2284,11	419,73
Pre-dep	4,00	2 motori	49,92	229,63	1168,13	214,66
				Emissioni totali		
Consumo totale	28,59	tradizionale	175,80	684,30	3477,68	1426,04
		Taxi 1 motore	127,00	459,79	2335,63	1216,17
		eTaxi	94,49	238,55	1208,24	1462,56
		Taxi 1 mot+eTaxi	143,29	463,05	2350,29	1672,42

Figura 4.5: Consumi-Emissioni

Elemento	Consumo	Emissioni		
		HC	CO	Nox
	[%]		[%]	
Taxi 1 motore	-27,8	-32,8	-32,8	-14,7
eTaxi	-46,3	-65,1	-48,3	2,6
Taxi 1 mot+eTaxi	-18,5	-32,3	-32,4	17,3

Figura 4.6: Risparmio

4.4.2 LTO

Si riporta, a titolo di confronto dei risultati ottenuti, il ciclo LTO secondo le modalità pubblicate.

Il ciclo LTO è così composto:

Decollo durata: 42 s.

Salita durata: 2,2 min fino alla quota di 3000 ft.

Avvicinamento/Atterraggio durata: 4 min

Rullaggio durata: 26 min

Nella tabella 4.9 sono riportati i valori ottenuti con il datasheet del motore considerato.

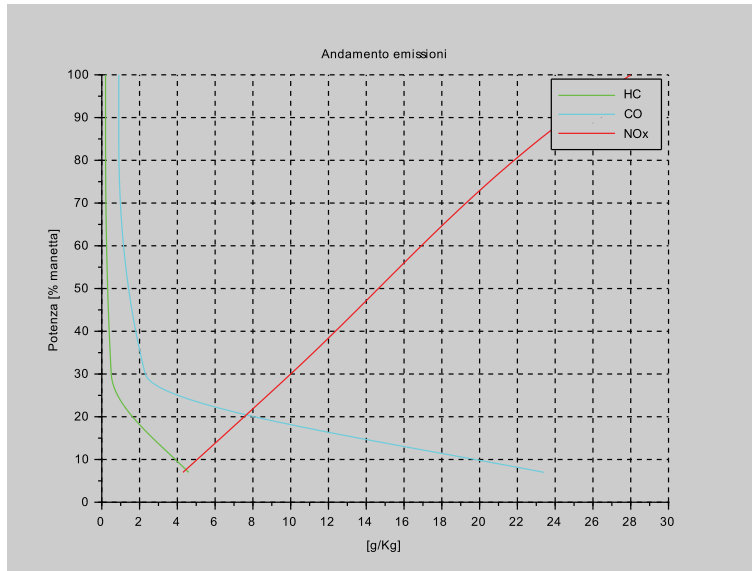


Figura 4.7: Andamento emissioni

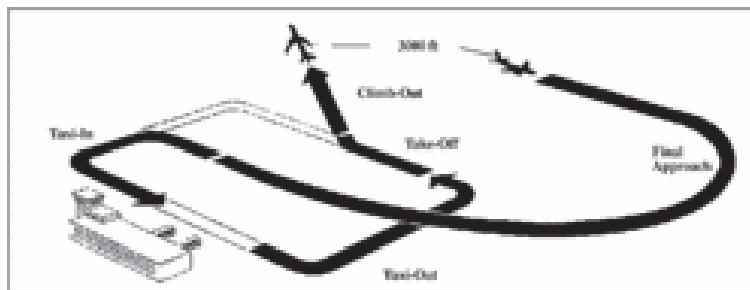


Figura 4.8: Ciclo LTO

	T/O	Climb	Avv.	Idle	Totale
Fuel Flow [Kg/s]	1,13	0,94	0,31	0,10	
T [s]	42,00	132,00	240,00	1560,00	1974,00
Carburante [Kg]	95,09	246,84	149,76	324,48	816,17
HC [g]	19,02	49,37	74,88	1492,61	1635,87
CO [g]	85,58	222,16	344,45	7592,83	8245,02
Nox [g]	2662,46	5726,69	1497,60	1395,26	11282,02

Figura 4.9: Ciclo LTO

Parte III

Capitolo 5

Valutazione del sistema

Impatto operativo dei sistemi eTaxi e possibili sviluppi procedurali e strutturali.

5.1 Impatto operativo

Si è cercato, per prima cosa, di dare una panoramica del problema globale e poi si è indagato sulle reali potenzialità dei nuovi sistemi di rullaggio. Attualmente sono poche le proposte sul mercato, tutte con dei pro e dei contro che spesso non sono indifferenti nella scelta. È facile immaginare che nel prossimo futuro tutte le compagnie si doteranno di una di queste soluzioni, magari anche di sistemi diversi, tutto per cercare un risparmio di combustibile ormai sempre più necessario per contenere i costi. Tutti questi sistemi come si è visto hanno dei tempi, velocità di movimento e d'impiego differenti.

Si è sempre posto il problema dal punto di vista della compagnia aerea, come è giusto che sia, dato che i sistemi sono rivolti al loro risparmio, ma questi sistemi bastano ad assicurare un risparmio reale? Se le messe in moto fossero adeguatamente separate, sicuramente sì ma il problema nasce quando c'è una sequenza di decolli in atto o attese per entrare allo stand. Ipotizzando quindi un risparmio di combustibile da un lato, dall'altro bisogna far fronte a ritardi temporali dovuti a una lunga sequenza, a separazioni necessarie a seconda delle SID¹, a separazioni per turbolenza di scia e magari a CTOT. A tutto questo bisogna aggiungere che alcuni aeromobili potrebbero essere dotati di sistemi eTaxi e altri no. È evidente che le velocità di rullaggio saranno notevolmente differenti e che anche i tempi del taxi potrebbero essere notevolmente variabili, ad esempio un a/m tradizionale potrebbe trovarsi a

¹Standard Instrument Departures

seguirne uno con un sistema elettrico sulla via di rullaggio impiegando un tempo differente dallo standard.

Il problema del consumo di carburante viene così ricondotto ad un problema generale del sistema trasporto aereo oltre che di innovazione tecnologica. L'analisi dei nuovi sistemi di rullaggio, se pur comunque di risparmio per le compagnie aeree, deve essere effettuato su più larga scala considerando anche un futuro sviluppo del sistema di controllo del traffico aereo e del servizio AMS².

Inoltre, l'introduzione di un'ulteriore sistema come il PGSA, naturale evoluzione dell'eTaxi per l'indipendenza al suolo dell'aeromobile, target di tutte le compagnie, necessiterebbe di un nuovo tipo di gestione dell'Apron da parte dell'ATC. Infatti il servizio implicherebbe un maggior controllo da parte della TWR in quanto la visuale del pilota è ridotta e le autorizzazioni che implicano precedenza andrebbero evitate, il tempo dei push, inevitabilmente, si allungherebbe e quindi una diversa gestione andrebbe considerata. Una valida alternativa potrebbe essere una procedura "ibrida" cioè un push-back autonomo ma con il solito ausilio dell'agente di rampa.

5.2 Possibili sviluppi

5.2.1 Celle a combustibile

Possibile progresso futuro, per ridurre drasticamente le emissioni di CO_2 , può essere l'utilizzo delle celle a combustibile in sostituzione dell'APU (FC-APU: Fuel Cell Auxiliary Power Unit), tecnologia ancora in fase di sviluppo. Quando si genera elettricità a partire dai combustibili fossili, si sfrutta l'energia termica, nel processo di combustione, non tutta l'energia prodotta è convertita in lavoro utile, parte di essa è sprecata dissipandosi nell'ambiente sotto forma di calore. Un modo molto più efficiente per produrre energia elettrica lo si avrebbe se si sfruttassero gli elettroni di legame per produrre direttamente elettricità, ed è il principio sul quale si basano le celle a combustibile. La cella a combustibile ad idrogeno è un generatore elettrochimico in cui l'energia elettrica è prodotta dalla reazione tra un combustibile (l'idrogeno) e un composto gassoso ossidante (l'ossigeno o l'aria). Insieme all'elettricità, vengono prodotti anche calore e acqua. La differenza fondamentale da una tradizionale batteria sta nel fatto che una cella a combustibile è praticamente infinita può quindi essere alimentata (rifornita) dall'esterno.

²Apron Management Service

Una cella a combustibile è costituita da due elettrodi in materiale poroso, il catodo (polo negativo) e l'anodo (polo positivo). Gli elettrodi fungono da siti catalitici per le reazioni di cella che consumano fondamentalmente idrogeno ed ossigeno, con produzione di acqua e passaggio di corrente elettrica nel circuito esterno. Tra i due poli è posto l'elettrolita, che ha la funzione di condurre gli ioni prodotti da una reazione (quella che avviene all'anodo(+)) e consumati dall'altra (quella che avviene al catodo (-)), chiudendo il circuito elettrico all'interno della cella [31]. Esistono diversi tipi di celle a combustibile, che differiscono principalmente per il tipo di catalizzatore, per il tipo elettroliti e in funzione delle temperature di funzionamento. Attualmente gli studi più diffusi in campo aeronautico sono relativi a celle di tipo PEM (Proton Exchange Membrane) note anche come PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) o SOFC (Solid Oxid Fuel Cell).

Emissioni Le emissioni delle celle a combustibile dipendono dal tipo di combustibile utilizzato, se si usa metano o metanolo ad esempio le emissioni sono basse ma una piccola percentuale di CO_2 e di HC viene comunque emessa, al contrario, con l'idrogeno, sono praticamente zero. Si percepisce che il vantaggio di utilizzare un sistema di questo tipo, considerando i tempi di accensione dell'APU, riduce drasticamente l'inquinamento.

Efficienza Valori tipici di rendimento di una pila ad idrogeno sono tra il 40 e il 60%, a seconda del tipo di cella [33].

Rumorosità La rumorosità di una cella a combustibile è quasi nulla, dipende solamente dalle parti meccaniche in movimento [33].

Sicurezza L'idrogeno, al contrario dei combustibili fossili, non è tossico, né corrosivo ed eventuali perdite dai serbatoi non causano problemi di inquinamento del terreno. Questo gas è meno infiammabile della benzina (ha una temperatura di autoaccensione maggiore). L'idrogeno è il più leggero degli elementi e perciò si diluisce e si disperde molto rapidamente in spazi aperti. È praticamente impossibile farlo detonare. Inoltre, quando brucia, l'idrogeno si consuma molto rapidamente, sempre con fiamme dirette verso l'alto, inoltre, vi sono poche possibilità che materiali vicini possano essere a loro volta incendiati, riducendo così, oltre alla durata dell'incendio, anche il pericolo di emissioni tossiche [31].

5.2.2 A-CDM

L'Airport Collaborative Decision Making è un sistema di condivisione dati che permette a tutte le figure del processo (operatori aeroportuali, ground

handler, ATC ecc) di lavorare insieme in maniera efficiente e trasparente condividendone le informazioni. Il progetto CDM punta a incrementare l'efficienza generale delle operazioni di aeroporto, in modo particolare delle operazioni di turn-around e del processo di pre/sequenza di partenza. Il target fondamentale del CDM è il TTOT ¹ che può essere usato per migliorare le prestazioni dei settori del sistema ATM europeo oltre che al servizio di controllo aeroportuale.

Il CDM è basato sull'approccio delle Milestone ovvero sulla sequenza temporale degli eventi, delle regole e delle informazioni, che gli operatori, a seconda delle competenze e delle responsabilità, devono aggiornare per soddisfare l'obiettivo di accuratezza dei dati. Lo scopo di questo approccio è quello di migliorare la comune consapevolezza situazionale del processo.

L'approccio delle Milestone descrive il progresso di un volo dalla pianificazione iniziale al decollo, definendo dei punti cardine che consentono un ravvicinato controllo degli eventi significativi. La condivisione delle informazioni è alla base del sistema, altrimenti l'approccio Milestone stesso non avrebbe senso.

In particolare gli obiettivi sono:

- determinare gli eventi significativi per monitorare i progressi dei voli
- definire gli aggiornamenti delle informazioni e gli allarmi: nuovi parametri, flussi di aggiornamento, messaggi di allerta, notifiche ecc.
- specificare la qualità del dato in termini di accuratezza, sequenza temporale, disponibilità, stabilità e previsione basata su una finestra temporale
- stabilire un legame tra traffico in partenza e in arrivo
- poter intervenire il prima possibile in caso di evento non programmato
- migliorare la qualità delle informazioni.

Si riportano le Milestone (fig. 5.1) con la relativa sequenza temporale e la loro obbligatorietà nell'implementazione del A-CDM fornendo alcune definizioni importanti per comprendere il flusso dati.

EOBT Estimated Off-Block Time: orario stimato in cui l'a/m inizierà a muoversi per la partenza

ALDT Actual Landing Time: orario di atterraggio

¹Target Take Off Time

AIBT Actual In-Block Time: orario di blocco dell'a/m

ACGT Actual Commence of Ground Handling Time: orario di inizio delle operazioni di handling²

ARDT Actual Ready Time: orario in cui l'a/m è pronto (a mettere in moto/al push ecc)

ASRT Actual Start Up Time: orario al quale il pilota richiede la messa in moto.

ASAT Actual Start Up Approval Time: orario al quale riceve l'autorizzazione della messa in moto

AOBT Actual Off-Block Time: orario al quale effettivamente libera la piazzola

ATOT Actual Take-Off Time: orario al quale l'a/m decolla

	Milestone	Tempo di riferimento	Obbligatorio/Opzionale
1	Attivazione FPL	3h primo EOBT	Altamente rac.
2	EOBT -2h	2h prima EOBT	Altamente rac.
3	Decollo	ATOT	Altamente rac.
4	Aggiornamento radar	Dipende da a/d	Altamente rac.
5	Avv. finale	Dipende da a/d	Altamente rac.
6	Atterraggio	ALDT	Altamente rac.
7	In-block	AIBT	Altamente rac.
8	Inizio Handling	ACGT	Raccomandato
9	TOBT	Dipende da a/d	Raccomandato
10	TSAT	Dipende da a/d	Altamente rac.
11	Imbarco	Dipende da a/d	Raccomandato
12	a/m ready	ARDT	Raccomandato
12	Richiesta start up	ASRT	Raccomandato
14	Approvazione start up	ASAT	Raccomandato
15	off-block	AOBT	Altamente rac.
16	Decollo	ATOT	Altamente rac.

²questo orario può essere uguale al AIBT, determinato localmente

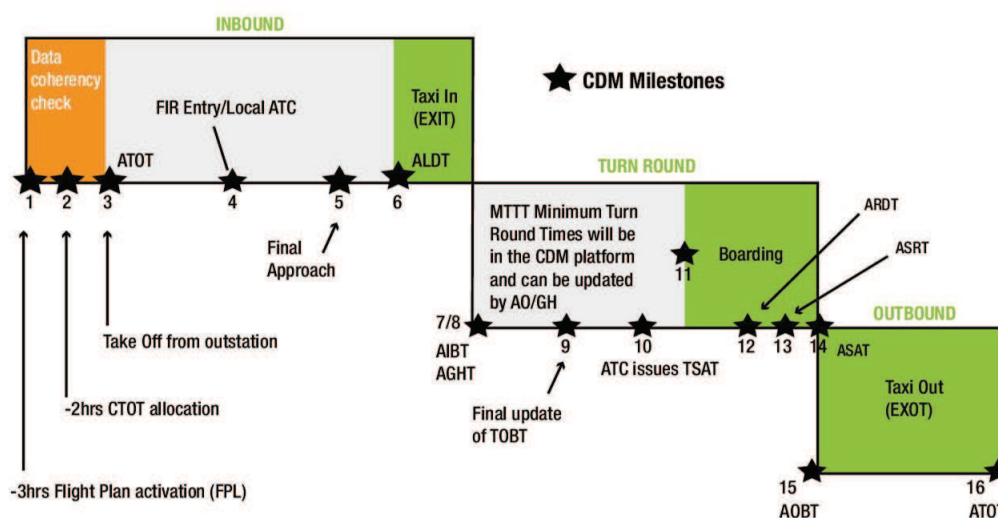


Figura 5.1: Flusso dati CDM Milestone

5.2.3 Variable Taxi Time

Con il termine Variable Taxi Time si intende il tempo stimato che un aeromobile impiega per rullare dalla piazzola di parcheggio alla pista (e vice versa). Variable Taxi Time è il termine generico che indica indistintamente il tempo di rullaggio in ingresso e in uscita usato per il calcolo del TTOT e TSAT. Il tempo di rullaggio in ingresso (EXIT) include il tempo di occupazione della pista mentre il tempo di rullaggio in uscita (EXOT) include il tempo di push back e start up, di movimento al suolo, i tempi di de-icing e l'attesa al Holding Point.

Tempi accurati di taxi sono essenziali per il calcolo dei seguenti punti:

- Estimated In-Block Time (EIBT)
- Estimated Target Take Off Time (ETOT e TTOT)
- Calculated Take Off Time (CTOT).

Gli aeroporti con un layout complesso possono provocare una grande differenza nei tempi del taxi. Invece di utilizzare un valore standard predefinito, un calcolo delle varie permutazioni sulla base di uno storico dei dati, esperienza operativa e/o un di sistema integrato forniranno un insieme più realistico dei valori di taxi individuale.

Per gli arrivi un Estimated Taxi-In Time (EXIT), aggiunto al Estimated Landing Time (ELDT), fornirà un EIBT accurato che sarà utile per una

precisa pianificazione dello stand e del gate, per la sequenza di pre-partenza e per le risorse delle operazioni di handling.

Per le partenze, un Estimated Taxi-Out Tempo (EXOT), aggiunto alla Estimated Off-Blocks Time (EOBT) o al Target Start up Approval Time (TSAT) fornirà un ETOT o TTOT che può essere usato dal CFMU per fornire un realistico CTOT, per aggiornare il profilo di volo all'interno ETFMS e quindi ottimizzare il flusso e la gestione della capacità del traffico aereo europeo.

La conoscenza dei tempi di taxi realistici in condizioni mutevoli:

- consente all'ATC di ottimizzare i push-back, i rullaggi e la sequenza di decollo, riducendo i ritardi e la congestione delle vie di rullaggio
- migliora il CTOT.

I parametri che maggiormente influenzano il Taxi Time sono:

- layout aeroportuale e infrastrutture
- pista in uso e relativa distanza dei punti attesa
- numero di attraversamenti di pista richiesti
- posizione degli stand
- condizioni meteorologiche
- peso dell'aeromobile
- de-icing
- densità di traffico
- procedure locali

Nella maggior parte degli aeroporti di piccole dimensioni non c'è la necessità di avere un valore del tempo di rullaggio variabile, in quanto il layout dei terminal e delle piste è adeguatamente rappresentato dal valore di default. Negli aeroporti medio grandi, per via della loro complessità questo non è più vero. Il valore di default è un valore che dipende solo dalla pista in uso in quel momento (a Linate varia durante la giornata in base al periodo, estivo o invernale), questo valore viene poi applicato a tutti gli aeromobili in maniera indifferenziata, in qualsiasi condizione meteo e per ogni stand. In ogni caso, a seconda delle condizioni operative, il valore del tempo di rullaggio può essere aumentato ma rimane lo stesso per tutti gli aeromobili. Ovviamente

introduce delle inesattezze nel CTOT e/o difficoltà nel rispettarlo. Il metodo più consono sarebbe quello di basarsi sulla stima di operatori interni al ciclo dell'aeromobile e soprattutto ad un'analisi statistica sullo storico dei dati, in modo tale da potere adattare tale valore alle tempistiche di quel particolare aeromobile di una determinata compagnia (che ha delle sue tempistiche e procedure) parcheggiato in un determinato stand con specifiche condizioni meteo e di traffico.

In un contesto così altamente sofisticato, l'uso di un sistema particolare di rullaggio, diverso da compagnia a compagnia, potrebbe essere adeguatamente introdotto e potrebbe essere fatto convivere con tutte le tipologie di aeromobile, limitando l'impatto operativo e minimizzando ogni altro inutile consumo di combustibile.

5.2.4 Aeroporto

Attualmente senza sistemi di eTaxi un aeromobile in arrivo si posiziona nose-in autonomamente al suo stand. I passeggeri utilizzano le due porte (anteriore e posteriore) per evacuare il velivolo, quando è posizionato in uno stand privo di finger e si dirigono direttamente ai pullman. Nel caso di stand con bridge, i passeggeri sbarcano solo dalla porta anteriore aumentando i tempi. In partenza i piloti devono aspettare che il trattore venga collegato e scollegato dal velivolo. Inoltre data l'alta concentrazione di uomini e mezzi in rampa il jet blast durante l'accensione e nel rullaggio può comportare dei problemi di safety. La lunga durata del taxi può portare all'ingestione di detriti da parte dei motori che comprometterebbe il volo e l'aumento dei costi per le compagnie. Con sistemi di eTaxi molte procedure, come si è visto e si può immaginare, potrebbero cambiare. Alcune scelte strutturali potrebbero modificare anche la gestione degli spazi sui piazzali con l'introduzione di push-back in autonomia e di procedure come il Twist(5.2) o il Twirl (5.3) [23].



Figura 5.2: Twist

Il Twist non è altro che l'ingresso nello stand con il velivolo bloccato, non più con la prua verso il terminal, ma porgendo il lato, esattamente con farebbe un'automobile per accostare a lato della strada. Questa manovra di per sé banale, non è permessa al momento agli aeromobili con rullaggio convenzionale, in quanto il flusso dei motori potrebbe creare danni alle infrastrutture e agli addetti che lavorano in rampa. Questo nuovo approccio al parcheggio consentirebbe inoltre di poter sfruttare entrambe le vie di uscita (o di carico) poste sul lato sinistro del velivolo con i finger aeroportuali accelerando le operazioni e il comfort dei passeggeri.



Figura 5.3: Twirl

Il Twirl invece non è altro che un push-back "corto" effettuato in autonomia. La manovra di spinta del velivolo al momento viene effettuata da un trattore che spinge il velivolo in un determinato punto (punto di rilascio) situato sulla taxiway adiacente. Tale punto è studiato ed approvato da ENAC in modo tale che non ci siano interferenze con i mezzi e infrastrutture aeroportuali durante l'accensione dei motori. Una manovra come il Twirl porterebbe l'a/m, in autonomia, indietro quel tanto che basta per poter ripartire in avanti, senza dover spesso percorrere diverse centinaia di metri per raggiungere il punto di rilascio.

	Oggiogiorno	Twist	Twirl
Rumore motore	Alto	APU	APU
Ingestione motore	Alto	No	No
Jet Blast	Alto	No	No
Trattore push-back	Richiesto	No	No
Ritardo per staff	Vari	No	Minimo
Mezzi rampa	Tanti	Minimo	Inferiore
Angolo di parcheggio	Nose-in	Parallelo	Nose-in
Finger	1	2	1
Mov. 2 porte	No	Finger	No
Tempo risp.	No	15-20 min ¹	3-5 min
Risparmio	No	1000 – 1300\$	200 – 300\$

Questi sistemi inoltre garantiscono un ambiente di lavoro più sano per il personale di rampa e con meno rischi sul piazzale. Il rumore sul piazzale è sicuramente minore ma quello che incide maggiormente come inquinamento sonoro complessivo è la rumorosità al decollo dei velivoli, fattore difficilmente ridimensionabile con un sistema eTaxi [34].

Capitolo 6

Conclusioni

Tutti i sistemi di rullaggio elettrico, che sembrano possano essere pronti nel prossimo futuro, hanno indubbiamente dei vantaggi e degli svantaggi. Le aziende assicurano dei notevoli risparmi sotto ogni punto di vista, mostrando cifre e percentuali non indifferenti; ma saranno dati effettivi, calcolati e valutati sul campo? Quanto influiscono sulla vita operativa dei velivoli attuali e che compromessi devono essere fatti per cui questi sistemi siano proficui? A quanto ammonta il risparmio?

Si vuole riassumere il lavoro svolto, valutando il sistemi di eTaxi e le soluzioni proposte dal mercato.

6.1 Valutare i consumi

Per poter analizzare un possibile impiego di questi sistemi di eTaxi, il primo passo fatto è stato quello di valutare il taxi time dei velivoli, e come già spiegato, lo si è fatto su un aeroporto "tipo". Infatti tutti i sistemi sono studiati soprattutto per tratte a medio/corto raggio e per velivoli "narrow"¹ "clientela tipica di Linate (LIML). È facile immaginare, in generale, che questo tipo di sistema sarà valido tanto più è lungo il tempo di rullaggio e quindi Linate, non essendo molto esteso, potrebbe non essere il campo giusto sul quale valutarlo, ma sicuramente potrebbe dare delle utili indicazioni su quanto potrebbe essere risparmiato su aeroporti di più grande estensione. Per prima cosa sono stati osservati i dati ufficiali di taxi-out dell'inverno 2013/2014 forniti della IATA, dati in cui non è specificato il metodo di rac-

¹Velivoli a singolo corridoio, fusoliera con diametro da 3 a 4 m circa e con 6 posti per fila

colta (si è quindi considerata la definizione di taxi time²), e ci si è resi conto che i valori sembrano particolarmente bassi. Si nota che a Linate il 50% dei velivoli rullava in 5 min. A questo punto per valutare la bontà dei valori si è effettuata una campagna di raccolta dati, utilizzando quelli forniti dalla torre di controllo. In condizioni standard, quindi nella fase di traffico più fluida, il confronto dei valori medi sottolinea la sottostima dei tempi da parte della IATA.

	IATA	LIML self-maneuvering	LIML push-back
Taxi time [min]	7	11.8	13.6

Tabella 6.1: Tempi medi

L'eTaxi fa risparmiare carburante! Considerando le procedure fornite da Airbus (4 min di warm-up di entrambi i motori) il risparmio in rullaggio a Linate, è notevole e si aggira mediamente intorno al 46.3% rispetto al rullaggio con 2 motori e al 27.8% rispetto al taxi con un motore solo. I valori ottenuti (fig. 4.7) sono comprensivi anche del consumo dell'APU, che come si può evincere dalla descrizione del sistema stesso, è permanentemente acceso durante il rullaggio. Come si può valutare dal capitolo 4.2.3, il risparmio aumenta man mano che il tempo di rullaggio aumenta o che, per eventi vari, l'aeromobile debba attendere prima del decollo. In aeroporti più estesi, il valore variabile del consumo con eTaxi, è quello associato al consumo di carburante dell'APU durante il taxi, quindi si potrebbe riassumere il tutto in:

$$Consumo = pre-push(\sim 15min) + push-back + \rightsquigarrow taxi(APU) \rightsquigarrow + warm-up$$

con:

pre-push si intende il consumo precedente al push-back, ovvero il consumo del velivolo, che è ancora allo stand, ma ha l'APU in funzione per alimentare le apparecchiature e/o condizionare. Questo intervallo di tempo, di solito, non è mai superiore ai 15 min, limitazione imposta a livello aeroportuale per contenere l'emissione di inquinanti.

²Tempo impiegato per il transito dalla piazzola di sosta fino al momento in cui viene autorizzato al decollo

push-back si intende il consumo di carburante durante il push-back, come visto e calcolato per Linate in fig. 4.7

taxi (APU) è la parte variabile del consumo totale utilizzando un sistema elettrico di rullaggio. Più è "lungo" il taxi più questo valore è consistente e allo stesso tempo più è conveniente utilizzare un sistema eTaxi.

warm-up è una parte fissa del consumo, ovvero tutti gli aeromobili Airbus [24], devono azionare 4 min prima del decollo i motori per un corretto riscaldamento (fig. 4.7).

Analizzando nel dettaglio la fig. 4.7 (o la formula precedente) ci si rende conto che al diminuire della durata della voce taxi, il vantaggio di utilizzare un sistema eTaxi viene a scemare. La durata per la quale tale sistema non è più vantaggioso è:

	Tempo [min]	Tempo Totale Taxi [min]
1 motore	2,61	6,61
2 motori	2,95	6,95

Tabella 6.2: Tempi minimi utilità eTaxi

Il tempo totale taxi è calcolato dal momento del rilascio del trattore dopo il push-back fino al momento del decollo quindi considerando i 4 min di warm-up.

Il calcolo preciso del consumo durante il taxi, così come si è calcolato nel paragrafo 4.2.5 utilizzando uno studio del MIT, ha evidenziato che la sola raccolta dei valori medi di taxi non è sufficiente per una corretta stima dei consumi. In realtà il consumo è maggiore per svariati motivi ma soprattutto per lo stile di guida dei piloti e per il numero di accelerazioni a cui è soggetto il velivolo.

La differenza tra i due metodi non è così sostanziale e quindi una buona stima del risparmio è deducibile anche solo da una corretta valutazione dei tempi medi. La valutazione dell'efficacia del sistema di eTaxi può essere basata sui tempi medi. È chiaro che una più attenta analisi porti alla luce ulteriori margini di risparmio, valutazioni che potrebbero cambiare usi e procedure di compagnia.

6.2 Valutare le emissioni

Altro punto forte del sistema è la riduzione delle emissioni nocive. Dato che, le emissioni sono direttamente correlate al tempo totale in cui i motori bruciano carburante, è intuibile che il sistema può solo emettere un quantitativo inferiore di sostanze nocive. Come analizzato il risparmio in emissioni è notevole. I valori di HC e CO sono rispettivamente del 65% e del 48% inferiori alle normali procedure, mentre dato l'uso consistente dell'APU i valori di NO_x sono leggermente superiori: 2.6%. Emissioni che potrebbero essere quasi del tutto abbattute con l'introduzione di sistemi innovativi come le batterie a celle di combustibile in sostituzione dell'APU come visto precedentemente.

6.3 Valutare i sistemi

Si riassumono le caratteristiche peculiari dei sistemi:

TaxiBot "Trattore "

- Nessuna aggiunta di peso
- Nessuna modifica sostanziale al velivolo
- Può essere usato per il push-back e per il taxi
- Non necessità di equipaggiamento per la connessione e la disconnessione
- Due versioni disponibili: per i velivoli narrow (A320, B737) e wide body (fino al A380)
- Sistema autonomo ma richiede una certificazione per il guidatore che supervisiona dal mezzo
- Velocità di 23 Kts, simile a quella attuale

WheelTug Carrello anteriore

- Motore elettrico alimentato dall'APU
- Nessuna modifica necessaria all'APU
- Basse velocità di rullaggio
- Può essere usato per il push-back e per il rullaggio
- Permanentemente fissato, aggiunta di peso di circa 150 kg
- Totale controllo del pilota

- Solo per i velivoli narrow

EGTS Carrello principale

- Motori elettrici alimentati dall'APU
- Necessaria la modifica dell'APU
- Può essere usato per il push-back e per il taxi
- Permanentemente fissato sul carrello principale, peso maggiore del sistema di WheelTug
- Solo per i velivoli narrow
- Velocità di rullaggio di circa 20 kts
- Totale controllo del pilot

Provando a valutare l'invasività dei sistemi ci si rende conto che il sistema EGTS richiede la modifica dell'APU. Il sistema EGTS, così come è stato proposto e presentato, sembra essere un sistema ideato per essere montato durante la costruzione e che i velivoli di nuova costruzione ne saranno dotati già dall'inizio. È una soluzione più costosa del concorrente, sicuramente più funzionale e completa, che porta, in rullaggio, ad avere prestazioni comparabili a quelle dei velivoli attuali. Il peso di tutto il sistema è notevole mentre la soluzione sul solo carrello anteriore, pesa poco meno di 150 kg. In quest'ultimo caso un'attenta valutazione del bilanciamento del velivolo è necessaria, ma sembra comunque la soluzione più rapida e versatile. I tempi di rullaggio, ovviamente, date le basse velocità, saranno maggiori ma non sembra che necessiti di lunghi tempi di montaggio e di modifiche alla struttura esistente. Il TaxiBot sembra essere una via di mezzo, un sistema che potrebbe subentrare ai push-back attuali e magari essere esteso al taxi (ma non sembra essere facilmente gestibile). Ideato per lo più per i wide-body e poter risparmiare del carburante durante il rullaggio, in aeroporti di estese dimensioni, anche se per un velivolo a lunga tratta, il risparmio di combustibile al suolo non sembrerebbe incidere molto.

Acronimi

ATC	Controllo del Traffico Aereo
A/M	Aeromobile
ALAQS	Airport Local Air Quality Studies
AMS	Apron Management Service
APU	Auxiliary Power Unit
ATS	Servizio del Traffico Aereo
BCSU	Brake and Control System Unit
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection
CTOT	Calculated Take Off Time
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitor
ECS	Environmental Conditioning System
EGT	Exhaust Gas Temperature
EGTS	Electric Green Taxi System
EL	Electric Load
ETFMS	Enhanced Tactical Flow Management System
FCOM	Flight Crew Operating Manual
FF	Fuel Flow
FOD	Foreign object debris
HP	Holding Point
IHP	Intermediate Holding Point
ILS	Instrumental Landing System
IPI	Istruzioni Permanenti Interne
LLZ	Localizzatore
LVO	Low Visibility Operation
LVP	Low Visibility Procedures
LVTO	Low Visibility Take-Off
MO-ATS	Manuale operativo ATS
MPD	Maintenance Planning Document
RTL	Ready to Load
RVR	Runway Visual Range
SID	Standard Instrumental Departure
TDZ	Touch Down Zone

Bibliografia

- [1] Fast Magazine, Airbus S.A.S. 2009
- [2] WheelTug Press, WheelTug plc. 2014
- [3] Getting To Grips With Fuel Economy, Airbus S.A.S. 2004
- [4] Low cost, high risk: I benefici e i costi delle strategie di hedging per le compagnie aeree, Giancarlo Giudici, Borsa Italiana. luglio 2014
- [5] Airline fuel and labour cost share, IATA economics. 2010
- [6] Airberlin Press, AirBerlin group. 2014
- [7] IPI (Istruzioni Permanenti Interne) Linate, ENAV. 2014
- [8] MO-ATS (Manuale Operativo Servizi del Traffico Aereo), ENAV. 2014
- [9] Compendio ATS, ENAV. 2014
- [10] Circolare APT-19, ENAC. 2005
- [11] Norme e procedure con bassi valori di visibilità, Ordinanza 018/2012, Direzione aeroportuale Milano Linate. 2012
- [12] CDM Implementation Manual v4, Eurocontrol. 2014
- [13] Estimation of Aircraft Taxi-out Fuel Burn using FDR Archives, Khadilkar - Balakrishnan, MIT. 2013
- [14] Scheda sicurezza Jet A1, Q8. 2010
- [15] IATA Aircraft Taxiing Systems Conference, IATA. 3-4 febbraio 2015
- [16] Linee guida relative ad interventi per minimizzare l'uso di carburante e ridurre le emissioni gassose, ENAC. 2009
- [17] Risoluzione A37-19/2010, ICAO. 2010

- [18] Climate Action, www.ec.europa.eu
- [19] Ambiente, www.enac.gov.it.
- [20] Airport Air Quality Manual, Doc 9889 ICAO.
- [21] Aircraft Engine Emissions Databank, ICAO.
- [22] Maintenance Planning Document, Airbus. 2012
- [23] YouTube WheelTug, WheelTug.
- [24] SOP-A320-216 Enhanced Rev.12, Airbus. 16-OCT-14
- [25] Differenze tra contratti Forward e Future, Borsa Italiana. 12 giugno 2014
- [26] Labor costs offset lower fuel costs as airlines boost hiring, Teresa Cederholm, Market Realist. 4 dicembre 2014
- [27] The dirty sky, aircraft emission, The Economist Newspaper.
- [28] Aircraft scrappage scheme could clean up dirty airlines, Theconversation. 3 aprile 2014
- [29] AIP, ENAV. 13 novembre 2014
- [30] E-Taxi Systems – The Hidden Technical Challenges, AirInsight. 24 giugno 2013
- [31] Idrogeno, www.Eni.com
- [32] Fuel Cells and Hydrogen, www.fuelcells.org
- [33] Celle a Combustibile Stato di sviluppo e prospettive della tecnologia, Marina Ronchetti, ENEA. 2008
- [34] Piano d’Azione ai sensi del D.Lgs. 194/05, SEA Linate. 14 luglio 2013