

Metodi e modelli di pianificazione e progettazione eliportuale per servizi di trasporto civile

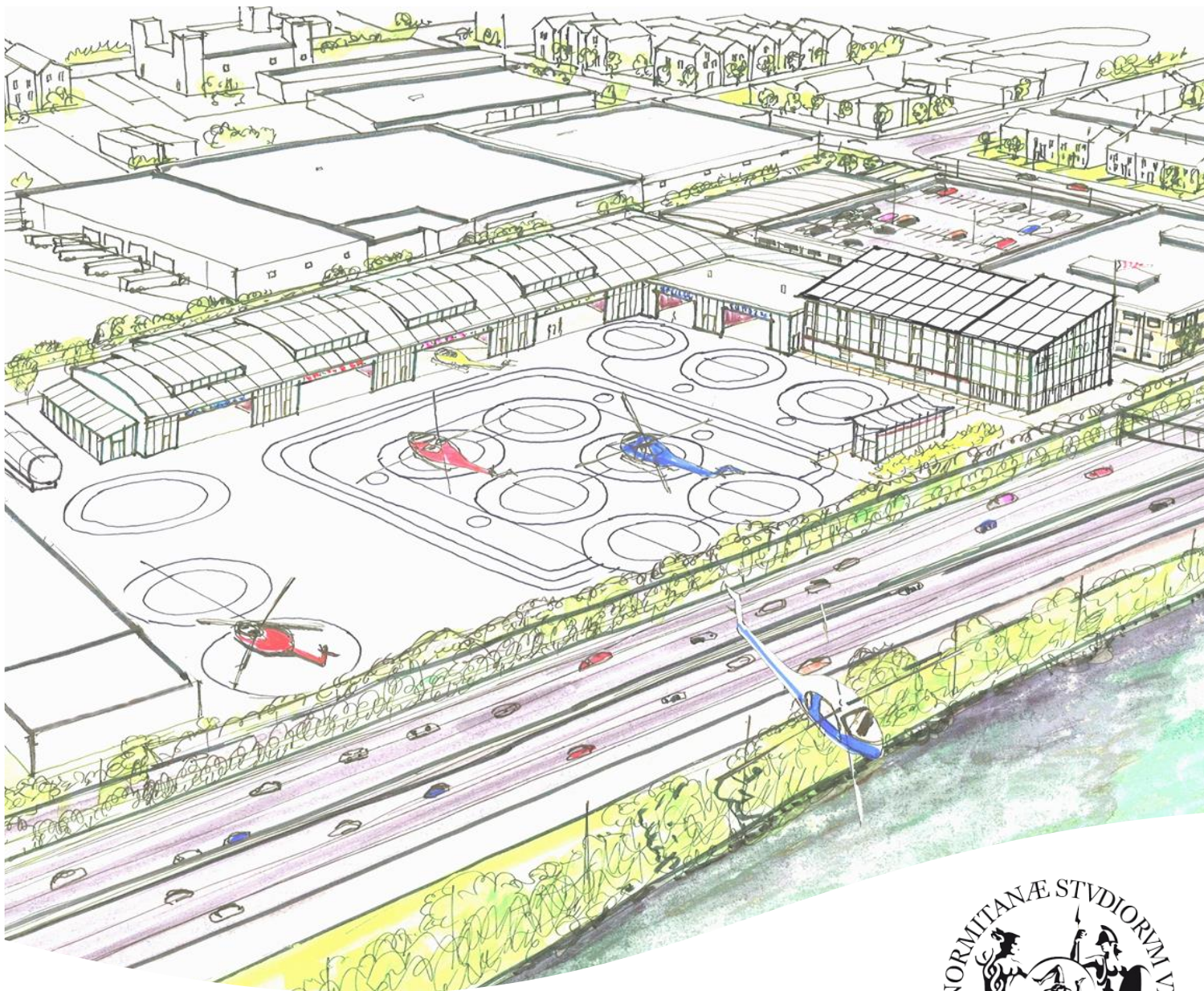
Luigi Maritano

Corso di Dottorato in *Tecnica ed Economia dei Trasporti*

XXIV Ciclo

Tutor: Prof. Ing. Salvatore Amoroso

Coordinatore: Prof. Ing. Marco Migliore



In copertina:

Artist Rendering of the Air Pegasus Metro Heliplex heliport

<http://ironboundnewark.com/we-fly-high-newark-heliporttheheliplex>



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali
Corso di Dottorato di Ricerca in Tecnica ed Economia dei Trasporti – XXIV Ciclo
S.S.D. ICAR/05

**Metodi e modelli di pianificazione e progettazione eliportuale
per servizi di trasporto civile**

Tesi di dottorato di:

Luigi Maritano

Tutor:

Prof. Ing. Salvatore Amoroso

Coordinatore del Corso:

Prof. Ing. Marco Migliore

INDICE GENERALE

INDICE GENERALE	pagina I
INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE	V
INTRODUZIONE	1

CAPITOLO 1 - L'impiego civile dell'elicottero: considerazioni di carattere generale e analisi del contesto nazionale ed internazionale

Premessa	3
1.1 Cenni storici sull'evoluzione tecnologica dell'elicottero.....	4
1.2 Il mercato degli elicotteri civili	9
1.3 Infrastrutture eliportuali per trasporto pubblico: esperienze internazionali	12
1.3.1 Il collegamento Monaco-Nizza.....	12
1.3.2 I servizi elicotteristici dell'area newyorkese	14
1.3.3 I collegamenti Hong Kong-Macau-Shenzhen.....	14
1.3.4 I collegamenti dello stretto di Gibilterra.....	15
1.3.5 Il collegamento Vancouver-Victoria	16
1.3.6 Un caso isolato in ambito nazionale: il collegamento Foggia-Isole Tremiti .	17
1.3.7 Altre infrastrutture eliportuali di interesse.....	19
1.4 Aspetti concernenti la safety nelle operazioni con gli elicotteri	22

CAPITOLO 2 - Il quadro normativo dell'uso civile dell'elicottero

Premessa	27
2.1 Il concetto di "eliporto"	27
2.2 La normativa sulla progettazione e sulla gestione delle infrastrutture	28
2.2.1 La normativa dell'International Civil Aviation Organization in materia di eliporti.....	28

2.2.2	La normativa della Federal Aviation Administration	30
2.2.3	La normativa dell'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile.....	32
2.3	La normativa sulle operazioni di volo con elicotteri	34
2.3.1	Normativa internazionale e comunitaria	34
2.4	La normativa sulla certificazione degli elicotteri	35
2.5	La certificazione acustica degli elicotteri	36

CAPITOLO 3 - Analisi comparativa delle differenti fonti normative in materia di progettazione eliportuale per servizi di trasporto aereo civile

Premessa.....	41	
3.1	Infrastrutture di decollo ed atterraggio per gli elicotteri.....	41
3.2	Distanze dichiarate e helicopter clearways	48
3.3	Infrastrutture per la movimentazione degli elicotteri all'interno di eliporti/aeroporti	50
3.4	Infrastrutture per lo stazionamento degli elicotteri all'interno di eliporti/aeroporti ..	55
3.5	Segnaletica orizzontale di eliporto.....	61
3.6	Segnaletica verticale e luminosa di eliporto	65
3.7	Servizi di soccorso e antincendio.....	67
3.8	Movimentazione degli elicotteri all'interno delle infrastrutture aeroportuali	69
3.9	Superfici di delimitazione degli ostacoli	70
3.10	Capacità dell'apron in relazione alla domanda di trasporto	78
3.10.1	Modelli analitici per la determinazione della capacità dell'apron	79
3.10.2	Influenza dei parametri di esercizio sulla capacità dell'apron	81
3.11	Comparazione delle normative ICAO e FAA in materia di progettazione del land-side e dell'air-side eliportuale.....	84
3.11.1	Dimensionamento dell'air-side eliportuale	84
3.11.2	Dimensionamento del land-side eliportuale.....	91

CAPITOLO 4 - La compatibilità ambientale delle infrastrutture eliportuali

Premessa	97
4.1 Gli impatti delle infrastrutture eliportuali sul territorio	98
4.2 Gli effetti sulla comunità	100
4.3 Panoramica sulle linee guida per la valutazione dell'impatto ambientale delle operazioni con elicotteri	103
4.4 Analisi sperimentale delle relazioni esistenti tra il rumore generato dalle operazioni con elicotteri ed i parametri operativi del mezzo.....	105
4.5 Analisi statistica dei risultati.....	113
4.6 Le emissioni atmosferiche degli elicotteri	117

CAPITOLO 5 - Valutazione dell'efficienza delle infrastrutture eliportuali

Premessa	121
5.1 Considerazioni introduttive sulla metodologia DEA.....	121
5.2 Il modello CCR.....	124
5.3 Il modello BCC.....	128
5.4 Altri modelli DEA per la valutazione dell'efficienza.....	131
5.4.1 Modello BCC output-oriented	131
5.4.2 Modelli CRS/NIRS/NDRS	131
5.4.3 Modelli measure-specific.....	132
5.4.4 Modelli additivi (slack-based)	133
5.4.5 Modelli non radiali.....	134
5.4.6 Modelli con struttura di preferenza.....	134
5.4.7 Modelli bad input/output	135
5.4.8 Modelli di congestione.....	136
5.4.9 Modello della super-efficienza (super-efficiency DEA models).....	138
5.4.10 Modello con variabili categoriche	138
5.5 Panoramica sullo stato delle infrastrutture aeroportuali nazionali	139

Indice generale

5.6	Simulazione 1	144
5.7	Simulazione 2	148
5.8	Simulazione 3	152
5.9	Simulazione 4	153
5.10	Simulazione 5	155
5.11	Simulazione 6	157
5.12	Considerazioni conclusive	159
CONCLUSIONI		161
APPENDICE		IX
GLOSSARIO		XXI
BIBLIOGRAFIA		XXIX

INDICE DELLE FIGURE

CAPITOLO 1

- Figura 1.1 Modello “a vite aerea” di Leonardo da Vinci
- Figura 1.2 Autogiro progettato da Juan de la Cierva
- Figura 1.3 L’elicottero progettato da C. D’Ascanio
- Figura 1.4 Sikorsky VS-300
- Figura 1.5 Bell 47
- Figura 1.6 A109 Power
- Figura 1.7 Percentuale di elicotteri acquistati e sostituiti dal 1999 al 2012
- Figura 1.8 Percentuale di elicotteri acquistati e sostituiti per regione
- Figura 1.9 Domanda d’acquisto di elicotteri civili nel quinquennio 2012-2016 per regione
- Figura 1.10 Piani di acquisto di nuovi elicotteri civili per classe di dimensione
- Figura 1.11 Piani di acquisto di nuovi elicotteri civili per classe di utilizzo
- Figura 1.12 Inquadramento territoriale dell’eliporto di Monaco
- Figura 1.13 Eliporto di Monaco
- Figura 1.14 Eliporto di Macau
- Figura 1.15 Eliporto Downtown Vancouver Harbour
- Figura 1.16 Rete eliportuale pugliese
- Figura 1.17 Eliporto di Tokyo
- Figura 1.18 Localizzazione dell’eliporto di Nizza
- Figura 1.19 Estratto dell’AIP – Eliporto di Nizza
- Figura 1.20 Andamento del numero di incidenti nell’ultimo decennio
- Figura 1.21 Elenco delle principali cause di incidenti con elicotteri
- Figura 1.22 Statistiche ANSV 2012
- Figura 1.23 Statistiche ANSV 2007-2012

CAPITOLO 2

- Figura 2.1 Limiti acustici per elicotteri certificati secondo l’Appendice H del 14 CFR Part 36
- Figura 2.2 Limiti acustici per elicotteri certificati secondo l’Appendice J del 14 CFR Part 36
- Figura 2.3 Limiti acustici per elicotteri certificati secondo il Capitolo 8 dell’Annesso 16 ICAO

CAPITOLO 3

- Figura 3.1 Lunghezza addizionale da assegnare alla FATO in funzione dell’elevazione
- Figura 3.2 Dimensioni minime definite nell’Annesso 14 ICAO
- Figura 3.3 Distanze dichiarate in decollo per un eliporto a livello del suolo
- Figura 3.4 Distanze dichiarate in atterraggio per un eliporto a livello del suolo
- Figura 3.5 Relazione tra taxiway e taxi-route
- Figura 3.6 Relazione tra ground taxiway e ground taxi-route
- Figura 3.7 Relazione tra air taxiway ed air taxi-route
- Figura 3.8 Dimensione minima dello stand nel caso di manovra taxi-through
- Figura 3.9 Dimensione minima dello stand nel caso di manovra hover-turn
- Figura 3.10 Stand progettati per hover-turns con air taxi-routes annesse
- Figura 3.11 Stand progettati per manovre non simultanee
- Figura 3.12 Schema di apron di tipo turn-around
- Figura 3.13 Schema di apron di tipo taxi-through
- Figura 3.14 Touchdown/Positioning marking per un Bell 427
- Figura 3.15 Touchdown/Positioning marking per un Sikorsky 61N

Figura 3.15a	Touchdown/Positioning marking per un Sikorsky UH-70/Blackhawk
Figura 3.16	Dimensioni degli indicatori di direzione del vento
Figura 3.17	Superfici di avvicinamento/decollo e di transizione
Figura 3.18	Superfici di avvicinamento/decollo e di transizione curvilinei
Figura 3.19	Zona di Protezione dell'Eliporto (HPZ – Heliport Protection Zone)
Figura 3.20	Superfici di delimitazione ostacoli
Figura 3.21	Relazione tra tempo di stazionamento e traffico annuale
Figura 3.22	Superfici della FATO secondo le due normative
Figura 3.23	Superfici TLOF secondo le due normative
Figura 3.24	Superfici della ground taxiway secondo le due normative
Figura 3.25	Superfici dell'apron secondo le due normative
Figura 3.26	Risparmio/perdita di suolo che si otterrebbe seguendo la normativa FAA
Figura 3.27	Grafico per il dimensionamento dello spazio per la sosta dei veicoli

CAPITOLO 4

Figura 4.1	Analisi della compatibilità ambientale delle infrastrutture eliportuali
Figura 4.2	Helicopter Route Chart dell'aeroporto di Los Angeles
Figura 4.3	Superfici esposte a 61dB in funzione del numero di movimenti giornalieri
Figura 4.4	Superfici esposte a 65dB in funzione del numero di movimenti giornalieri
Figura 4.5	Superfici esposte a 67dB in funzione del numero di movimenti giornalieri
Figura 4.6	Superfici esposte a 61dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa
Figura 4.6a	Superfici esposte a 61dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa (AW109)
Figura 4.7	Superfici esposte a 65dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa
Figura 4.8	Superfici esposte a 67dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa
Figura 4.9	Riduzione percentuale delle superfici esposte a 65dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa per un AW139, nel caso in cui si ipotizza una dispersione nelle traiettorie del sentiero di discesa
Figura 4.10	Comparazione tra le superfici isofoniche generate per due diversi valori dell'angolo del sentiero di discesa (45°, a sinistra, 87°, a destra), aeroporto di Boccadifalco

CAPITOLO 5

Figura 5.1	Schema concettuale della metodologia DEA
Figura 5.2	Confronto tra le frontiere CRS e VRS
Figura 5.3	Frontiere efficienti per i modelli CRS (a), NIRS (b) e NDRS (c)
Figura 5.4	Andamento del numero di passeggeri movimentati negli aeroporti europei per categoria di traffico
Figura 5.5	Relazione tra i costi di produzione per WLU e la dimensione del traffico per gli aeroporti nazionali
Figura 5.6	Inquadramento territoriale degli aeroporti minori aperti al traffico civile e catchment area dei due aeroporti intercontinentali nel range 500 km
Figura 5.7	Dotazione nazionale media di spazi destinati ad apron e terminal per tipologia di aeroporto
Figura 5.8	Efficiency scores delle DMU nei tre modelli sulla capacità
Figura 5.9	Eccesso di superficie air-side per i 16 aeroporti minori
Figura 5.10	Eccesso di superficie land-side per i 16 aeroporti minori
Figura 5.11	Risultati della Simulazione 3
Figura 5.12	Risultati della Simulazione 4
Figura 5.13	Risultati della Simulazione 5
Figura 5.14	Risultati della Simulazione 6
Figura 5.15	Efficienza media nelle due simulazioni miste

INDICE DELLE TABELLE

CAPITOLO 2

Tabella 2.1	Requisiti di certificazione dei Large Rotorcraft prescritti dalla CS 29
Tabella 2.2	Limiti di rumore secondo il Chapter 8 dell'Annesso 16 ICAO
Tabella 2.3	Limiti di rumore secondo il Chapter 11 dell'Annesso 16 ICAO

CAPITOLO 3

Tabella 3.1	Comparazione tra le norme FAA ed ICAO su FATO, TLOF e safety area di eliporti per trasporto passeggeri localizzati a livello del suolo
Tabella 3.2	Larghezza delle ground-taxiway
Tabella 3.3	Distanze di separazione per le infrastrutture di rullaggio espresse in multipli della larghezza massima dell'elicottero di progetto
Tabella 3.4	Tipologie di marking contemplati nei due documenti
Tabella 3.5	Tipologie di segnali luminosi contemplati nei documenti ICAO e FAA
Tabella 3.6	Dimensioni degli indicatori di direzione del vento
Tabella 3.7	Categoria antincendio di un eliporto
Tabella 3.8	Quantitativi minimi di estinguenti utilizzabili per categoria di eliporto
Tabella 3.9	Distanze tra gli assi centrali della pista di volo e della FATO
Tabella 3.10	Distanze minime di separazione per una FATO
Tabella 3.11	Superfici di delimitazione degli ostacoli
Tabella 3.12	Esito delle simulazioni effettuate sulla capacità dell'apron
Tabella 3.13	Parametri caratteristici dei 3 elicotteri di progetto
Tabella 3.14	Dimensionamento air-side secondo la normativa FAA
Tabella 3.15	Dimensionamento air-side secondo la normativa ICAO
Tabella 3.16	Confronto dimensionale sull'air-side
Tabella 3.17	Confronto tra le superfici funzionali dell'air-side (dimensioni in m ²)
Tabella 3.18	Dimensioni minime delle aree funzionali del land-side eliportuale per categoria di traffico

CAPITOLO 4

Tabella 4.1	Fattori acustici e virtuali nella valutazione del rumore
Tabella 4.2	Variabilità delle superfici isofoniche per valori successivi dell'angolo del sentiero di discesa, in funzione del numero di movimenti giornalieri
Tabella 4.3	Valori dei coefficienti di correlazione di Pearson per i 3 Set di dati
Tabella 4.4	Valori dei parametri di regressione per l'isofona 65dB
Tabella 4.5	Valori delle emissioni di alcune sostanze inquinanti per un'ora di volo

CAPITOLO 5

Tabella 5.1	Modelli DEA di base
Tabella 5.2	Corrispondenza tra problema CCR primale e duale (forma matriciale)
Tabella 5.3	Corrispondenza tra problema BCC primale e duale (forma matriciale)
Tabella 5.4	Dataset della Simulazione 1
Tabella 5.5	Efficiency scores della Simulazione 1
Tabella 5.6	Proiezioni delle DMU inefficienti (Simulazione 1)
Tabella 5.7	Valutazione dell'efficienza di scala (Simulazione 1)
Tabella 5.8	Valutazione della super-efficienza (Simulazione 1)

Indice delle Figure e delle Tabelle

Tabella 5.9	Dataset della Simulazione 2
Tabella 5.10	Dataset della Simulazione 3
Tabella 5.11	Dataset della Simulazione 4
Tabella 5.12	Efficienze di scala (Simulazione 4)
Tabella 5.13	Dataset della Simulazione 5
Tabella 5.14	Dataset della Simulazione 6
Tabella 5.15	Proiezioni delle DMU inefficienti (Simulazione 6)
Tabella 5.16	Schema riassuntivo delle simulazioni effettuate

INTRODUZIONE

L'elicottero è ad oggi uno dei mezzi di trasporto più versatili. La flessibilità operativa e la rapidità di manovra, specialmente in prossimità di porzioni territoriali impervie dal punto di vista dell'orografia e dell'accessibilità, costituiscono i punti di forza di questo straordinario aeromobile. Il mezzo ad ala rotante sembra essere altamente competitivo nelle brevi come nelle medie distanze, capace inoltre di soddisfare le esigenze di mobilità turistica a livello regionale. Inoltre, l'elicottero raggiunge prestazioni ineguagliabili nei servizi di trasporto di beni e persone in un'ottica di intermodalità, soprattutto alla luce delle forti criticità che caratterizzano il sistema infrastrutturale nazionale, anche se ancora molti passi in avanti vanno fatti per incentivare la cultura di una mobilità integrata e non settoriale. D'altro canto, l'utilizzo dell'elicottero per servizi di trasporto civile passeggeri, ad eccezione di alcune realtà particolari, stenta ad affermarsi, a causa dei due principali fattori deterrenti ovvero i costi (di produzione e di esercizio) elevati e l'impatto ambientale generato dal mezzo in prossimità del territorio sul quale opera.

Parallelamente allo sviluppo tecnologico del mezzo nel suo complesso, nonché delle singole componenti, elemento necessario per arginare il problema sotto la prospettiva economica, è fondamentale agire sugli aspetti legati alla pianificazione ed alla progettazione delle infrastrutture al suolo, con l'obiettivo di creare le condizioni al contorno di un'efficienza operativa complessiva del trasporto aereo.

L'assenza di riferimenti normativi univoci e standardizzati, così come le indicazioni talvolta frammentarie e fuorvianti dettate dalle direttive nazionali dei vari Paesi, determinano lacune tecniche che si ripercuotono sull'operatività degli elicotteri e quindi sulla qualità del servizio offerto ai passeggeri.

Il lavoro affrontato si pone come obiettivo l'analisi delle questioni inerenti alla pianificazione ed alla progettazione delle infrastrutture eliportuali, sotto gli aspetti legati alla compatibilità ambientale del mezzo, alla geometria degli spazi, ai dispositivi al suolo ed alla integrazione con i servizi aerei ad ala fissa.

L'analisi effettuata è di tipo *step-by-step*. Partendo da alcune considerazioni introduttive sul ruolo dell'elicottero (Capitolo 1) ed il relativo impiego nei servizi di trasporto civile passeggeri, si è proceduto con la disamina delle fonti normative principali in materia (Capitoli 2 e 3), sulle quali l'autore ha voluto soffermare l'attenzione e suggerire eventuali modifiche e/o integrazioni per migliorarne la comprensibilità ed assicurarne l'omogeneità complessiva. L'obiettivo è quello dell'analisi critica delle fonti normative internazionali, comunitarie e nazionali al fine di mettere in luce eventuali incongruenze, imprecisioni e asimmetrie tra i vari documenti a disposizione del pianificatore ed il progettista come riferimento.

Successivamente, si è voluto porre l'attenzione sulle problematiche ambientali del mezzo elicottero (Capitolo 4), soffermandosi in particolare sulla questione del rumore generato in relazione all'operatività dell'aeromobile in corrispondenza del suolo. Mediante l'utilizzo di un software specializzato per la valutazione dell'impatto acustico, si è proceduto con l'esecuzione di un *set* di simulazioni il cui obiettivo è l'indagine dell'influenza delle manovre eseguite dai piloti sulla generazione di livelli di rumore in corrispondenza delle infrastrutture.

A valle dell'analisi ambientale, è stato affrontato un tema oggi più che mai fondamentale per lo sviluppo delle infrastrutture e per l'integrazione delle stesse all'interno dei *network* aeroportuali: la valutazione dell'efficienza degli scali minori in relazione al consumo di territorio ed alle caratteristiche trasportistiche (accessibilità, traffico etc.) e operative ed il relativo confronto con il caso degli eliporti (Capitolo 5).

A valle di una serie di esperimenti condotti attraverso l'applicazione di modelli basati sulla metodologia *Data Envelopment Analysis* (DEA), è stato possibile individuare le lacune infrastrutturali degli aeroporti nazionali a basso traffico ed i fattori che ne determinano l'inefficienza. I risultati ottenuti hanno evidenziato, nella maggior parte dei casi, la netta superiorità degli eliporti in termini di risparmio del suolo e gli enormi vantaggi che si otterrebbero dalla conversione degli scali inefficienti in piattaforme V/STOL capaci di smistare il traffico da e verso i principali *hub* nazionali. I numeri che vengono fuori dalle simulazioni effettuate costituiscono le basi per gli sviluppi futuri del lavoro. Attraverso una opportuna analisi costi-benefici, congiuntamente all'applicazione di modelli più sofisticati, sarà quindi possibile valutare caso per caso i vantaggi che conseguirebbero dalla creazione di un sistema misto ala fissa-ala rotante, passo innovativo verso una rivoluzione del trasporto aereo civile.

CAPITOLO 1

L'impiego civile dell'elicottero: considerazioni di carattere generale e analisi del contesto nazionale ed internazionale

Premessa

Un sistema di mobilità integrato ed efficiente dovrebbe, in linea del tutto generale, includere modi di trasporto che completino l'offerta delle soluzioni esistenti con l'obiettivo di soddisfare le esigenze degli spostamenti di coloro la cui utilità consiste nella minimizzazione dei tempi di trasferimento. Gli scenari di mobilità attuali per utenze business e turistiche, sempre più esigenti e in continuo aumento, presentano numerose criticità legate principalmente alle carenze della rete infrastrutturale dei grandi centri urbani e delle zone dedite a flussi turistici di notevole entità. Tali scenari richiamano l'attenzione sulla necessità di una diversa pianificazione dell'offerta di trasporto, a fronte di una domanda di mobilità in continua evoluzione, evocando una soluzione, in particolare, ai problemi connessi con la necessità di una maggiore integrazione, per un maggior sfruttamento delle potenzialità, dei diversi modi e sistemi di trasporto, l'eccedenza, rispetto alle caratteristiche capacitive della rete stradale, della domanda di trasporto su gomma ed infine la difficile gestione delle infrastrutture durante situazioni di emergenza, a causa della congestione delle reti viarie.

Nel contesto di deficit infrastrutturale stradale e ferroviario in cui molti Paesi si trovano, il trasporto elicotteristico appare una soluzione possibile ai problemi legati al trasporto delle persone, nelle brevi come nelle medie distanze. L'elicottero rappresenta il mezzo di trasporto aereo più adeguato per operare in contesti complessi o addirittura estremi. Per tali motivi, la sicurezza e l'affidabilità sono da sempre le caratteristiche più importanti per questo tipo di mezzo, sia nei ruoli civili sia in quelli militari. La sfida futura per rimanere protagonisti sul mercato globale si giocherà ancora su questi elementi fondamentali, ma nel frattempo assumerà sempre più rilevanza, come fattore di competizione, la capacità di migliorare l'efficienza complessiva e di ridurre gli impatti ambientali in tutto il ciclo di vita del prodotto. Questo rappresenta certamente il modo per consentire all'elicottero di integrarsi pienamente con le altre modalità di trasporto, dando così il proprio contributo allo sviluppo di sistemi di mobilità sostenibile ancora più avanzati.

In questo capitolo saranno presentate le finalità dell'impiego del mezzo elicottero per il trasporto civile, attraverso un'attenta analisi dell'evoluzione tecnologica del mezzo nel corso degli anni, dei casi di applicazione di tali servizi in ambito europeo ed internazionale ed infine, dei possibili sviluppi futuri in relazione alle criticità/punti di forza riscontrati.

1.1 Cenni storici sull'evoluzione tecnologica dell'elicottero

Studi autorevoli fanno risalire la nascita del concetto di “ala rotante” al tempo degli antichi cinesi (400 a.C.), i quali erano soliti costruire dei giocattoli di piccola dimensione detti “libellule di bamboo”. Ma la pietra miliare che identifica univocamente la nascita dell'idea di ala rotante è l'invenzione del “modello a vite aerea” da parte di Leonardo da Vinci, che nel 1487 disegnò la famosa tavola, universalmente riconosciuta come la prima testimonianza di macchina a decollo verticale (Figura 1.1).

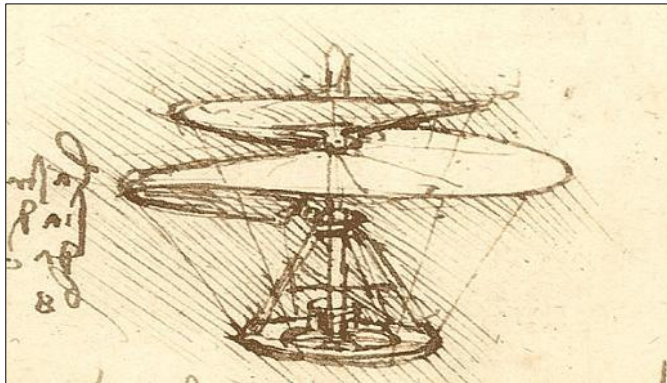


Figura 1.1 – Modello “a vite aerea” di Leonardo da Vinci

La macchina disegnata dal grande inventore rinascimentale non sarebbe però riuscita a librarsi in quanto, a quei tempi, non sarebbe stato verosimile generare una forza in grado di sollevare quel peso: inoltre, Leonardo trascurò il problema della controrotazione. Passeranno più di 300 anni prima che lo scienziato russo Lomonosov potè costruire un modello di macchina ad ala rotante che però non si sollevò mai dal suolo a causa dell'eccessivo peso. Nel 1784 riuscirono nell'impresa il naturalista Launoy e il meccanico Bienvenu, presentando un modello volante costituito da una coppia di rotori quadripala controrotanti posti all'estremità di un bastoncino. Tale invenzione costituì la prova della fattibilità del volo a decollo verticale. La ricerca negli anni successivi si concentrò sull'ideazione di soluzioni propulsive in grado di fornire adeguata energia per mantenere in volo le macchine per periodi sufficientemente lunghi. Il primo modello di macchina ad ala rotante con motore a vapore risale al 1868: sfortunatamente, tale macchina non fu mai in grado di sollevarsi dal suolo, ma passò alla storia per il nome con la quale fu battezzata ossia *hèlicoptèr*. Un con-

tributo realmente efficace nella soluzione delle problematiche connesse all'eccessivo peso delle macchine fu apportato dall'italiano Enrico Forlanini, il quale, nel 1877, propose un modello leggero di peso complessivo pari a circa 3,5 kg in grado di alzarsi da terra fino ad una quota di 13 metri grazie ad una caldaia a vapore. Di particolare interesse storico è inoltre un progetto successivo che gettò le basi per lo sviluppo di modelli che ancora oggi sono al vaglio degli studi di aerodinamica, ovvero l'ideazione del moderno "convertiplano", proposto nel 1862 dall'americano L.C. Crowell. Tale macchina si rivelò in grado di decollare come un elicottero e, una volta in volo, di "trasformarsi" in un mezzo ad ala fissa grazie alla rotazione delle ali intorno al proprio asse. Parallelamente all'impresa pionieristica dei fratelli americani Wilbur e Orville Wright, in Europa, la famiglia Breguet sperimentava soluzioni per il volo ad ala rotante. I Breguet, infatti, intuirono il concetto che permette il movimento del mezzo sul piano orizzontale: scoprirono che ruotando le pale del rotore avrebbero potuto ottenere una forza propulsiva in direzione perpendicolare alla portanza. Ma il primo volo di un elicottero con pilota a bordo e privo di aiuti da terra risale all'anno 1907, grazie a Paul Cornu, il quale costruì una macchina birotore e bipala in grado di librarsi ad una quota di 30 cm da terra per circa venti secondi sfruttando il principio del cambio dell'angolo di incidenza delle pale. Successivamente egli riuscì anche a raggiungere quote maggiori (fino a 2 metri) trasportando passeggeri aggrappati al telaio del velivolo. I problemi legati alla controllabilità del mezzo furono risolti negli anni successivi: un grande contributo fu apportato dall'ingegnere della Peugeot Etienne Oemichen. Nel 1924 il suo modello Oemichen no.2 fu in grado di compiere un volo di andata e ritorno coprendo una distanza di oltre un chilometro e mezzo, mostrando l'abilità di fermarsi e di spostarsi volando anche a punto fisso. Negli anni venti fu ideato l'"autogiro" da parte dello spagnolo Juan de la Cierva (Figura 1.2). Tale macchina, in grado di decollare e atterrare in spazi ristretti fu largamente impiegata negli Stati Uniti per servizi postali, sfruttando la capacità del velivolo di eseguire manovre sui tetti degli edifici. L'introduzione del rotore di coda è invece dovuta all'olandese A.G. von Baumhauer. Ma il primo elicottero che vanta il pregio di essere stato riconosciuto dalla *Federation Aeronatique Internationale* fu quello progettato e costruito dall'ingegnere Corradino D'Ascanio che nel 1930 stabilì alcuni record di volo (Figura 1.3).



Figura 1.2 – Autogiro progettato da Juan de la Cierva

I progressi ottenuti da D'Ascanio indussero Luis Breguet a riprendere gli studi portati avanti negli anni precedenti e ad ideare il noto Breguet-Dorand Gyroplane, macchina in grado di raggiungere i 150 metri di quota, di volare per più di un'ora e di percorrere un circuito di 44 km ad una velocità prossima ai 100 km/h.

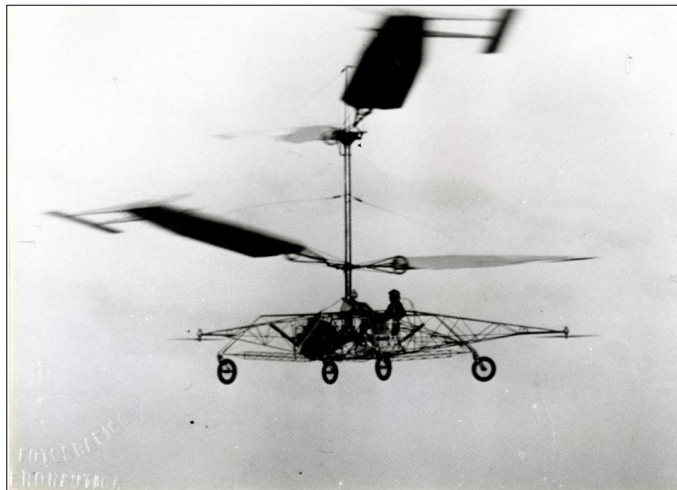


Figura 1.3 – L'elicottero progettato da C. D'Ascanio

Parallelamente, negli Stati Uniti, uno dei più grandi ingegneri aeronautici, Igor Sikorsky, stava sviluppando quello che può definirsi come il precursore di tutti gli elicotteri moderni ovvero il VS-300 (Figura 1.4): questo fu, infatti, il primo elicottero in grado di eseguire manovre sull'acqua previa sostituzione del carrello con appositi galleggianti. Le macchine ideate da Sikorsky furono le prime ad essere prodotte per uso continuativo e adoperate principalmente per scopi militari.



Figura 1.4 – Sikorsky VS-300

Ci si rese subito conto che tale mezzo era imbattibile come piattaforma di osservazione e per il trasporto di cose e persone in luogo altrimenti inaccessibili, requisiti essenziali durante i combattimenti aerei. Divenuto dunque ormai indispensabile in ambito bellico, l'elicottero conobbe uno sviluppo repentino con la nascita parallela di un fiorente mercato. La sua produzione fu portata avanti da diverse società alcune delle quali tutt'oggi esistenti quali ad esempio McDonnell, Sikorsky, Piasecki e Bell. Il Bell 47 fu infatti uno dei mezzi prodotti in grande serie per usi civili e militari (Figura 1.5).



Figura 1.5 – Bell 47

Gli anni '50 videro l'introduzione nel mercato di nuovi modelli con propulsione a turbina invece che con motori a pistoni, passo fondamentale per il miglioramento delle prestazioni in termini di rapporto tra dimensioni e capacità di carico. Da segnalare, proprio nel 1950, la nascita del primo servizio di trasporto passeggeri statunitense con il Bell 47, a Los Angeles. In seguito tale iniziativa fu ripetuta a Chicago e a New York e in Europa, in Inghilterra e in Belgio (quest'ultimo considerato come la "patria" del trasporto elicotteristico civile). Dalla metà degli anni '50 il mercato europeo degli elicotteri si sviluppò repentinamente e vide la nascita di nuovi costruttori tra i quali Agusta (in Italia), Westland (in Inghilterra) e

Aérospatiale (in Francia). In Italia il primo elicottero di medie dimensioni fu l'A102 costruito da Agusta e utilizzato per servizi di trasporto pubblico tra gli aeroporti di Milano e Torino. Gli anni successivi videro la nascita di nuovi modelli con crescenti prestazioni in termini di velocità massima raggiungibile e controllabilità del mezzo. Nel 1971 nacque il primo elicottero al mondo ad essere certificato per il volo strumentale, l'A109. Gli anni '80 conobbero invece lo sviluppo di un approccio progettuale innovativo che introdusse funzioni oggi normalmente implementate negli elicotteri civili. Negli anni '90 furono prodotti elicotteri di nuova generazione quali ad esempio l'A109 Power (Figura 1.6), dotato di avionica integrata e automatizzata. Al fianco dell'innovazione tecnologica prese sempre più piede lo sviluppo della normativa che regola la certificazione dei mezzi e dei relativi motori, delle operazioni con elicotteri e delle relative infrastrutture atte ad accogliere tali velivoli. Tali prescrizioni, particolarmente restrittive nel campo d'impiego civile dell'elicottero, nascono ovviamente dall'esigenza di garantire livelli sempre più elevati di *safety* in ottemperanza anche dei requisiti di comfort da assicurare ai passeggeri. In particolare, le migliorie sono basate sugli aspetti connessi al design delle strutture, al sistema di alimentazione, ai combustibili utilizzati per la propulsione dei mezzi ed alle performance.



Figura 1.6 – A109 Power

Negli ultimi anni i progressi della tecnologia hanno riguardato l'introduzione della strumentazione digitale e di sistemi avionici compatibili con l'impiego dei nuovi standard di navigazione aerea satellitare. Di fondamentale importanza è invece lo sforzo scientifico che nell'ultimo quinquennio sta investigando sulla necessità di abbattere i consumi e le emissioni di questo straordinario mezzo, problematiche che al giorno d'oggi limitano fortemente la nascita di ulteriori servizi di trasporto passeggeri e che giustificano lo scetticismo di molti imprenditori nell'acquisto dei mezzi e nella fornitura dei servizi.

1.2 Il mercato degli elicotteri civili

La previsione del numero di elicotteri civili che saranno acquistati nel medio-lungo periodo o nell'arco di un decennio non è, ovviamente, una scienza esatta. Le previsioni del mercato degli elicotteri civili sono effettuate per lo più dalle due più grandi case costruttrici di motori che operano in concorrenza, ovvero la Rolls Royce e la Honeywell. I numeri che vengono fuori dalle stime delle due aziende sono fortemente discordanti: per citare un esempio, Rolls Royce prevede 6.095 consegne di elicotteri civili nel periodo 2007-2016 mentre Honeywell ha recentemente affermato che la domanda globale di tali mezzi potrebbe addirittura superare le 8.000 unità. Entrambe le case costruttrici hanno previsto, per i prossimi anni, un trend positivo nell'acquisto di nuovi mezzi da parte degli operatori, tuttavia i numeri attuali, previsti qualche anno fa, si discostano significativamente di circa 400 elicotteri (previsione per il 2012).

Analizzando in via preliminare le previsioni del mercato degli elicotteri civili nel quinquennio 2012-2016 si evince un incremento globale nelle vendite che può raggiungere, secondo le più autorevoli fonti in materia, il valore di 4.700-5.200 nuovi elicotteri per usi civili. In accordo con le indagini effettuate da Honeywell, la domanda di elicotteri civili nel 2012 si è mantenuta relativamente stabile, anche se si nota una diminuzione di 6 punti percentuali in relazione all'anno precedente (Figura 1.7): la stessa azienda sottolinea inoltre una forte incertezza nei piani di acquisto di tali velivoli negli anni futuri.

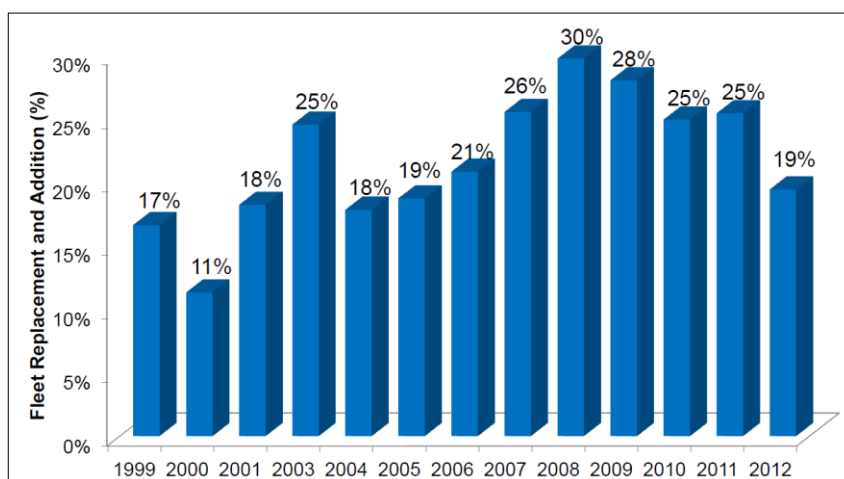


Figura 1.7 – Percentuale di elicotteri acquistati e sostituiti dal 1999 al 2012
(Fonte: Honeywell forecasts)

E' interessante notare anche la disaggregazione del mercato per aree geografiche. Il continente che nel 2012 mostra i tassi più elevati di flotta rinnovata di elicotteri civili è

l'America Latina, malgrado si evidenzi una leggera flessione riguardo agli stessi tassi calcolati nei due anni precedenti (Figura 1.8).

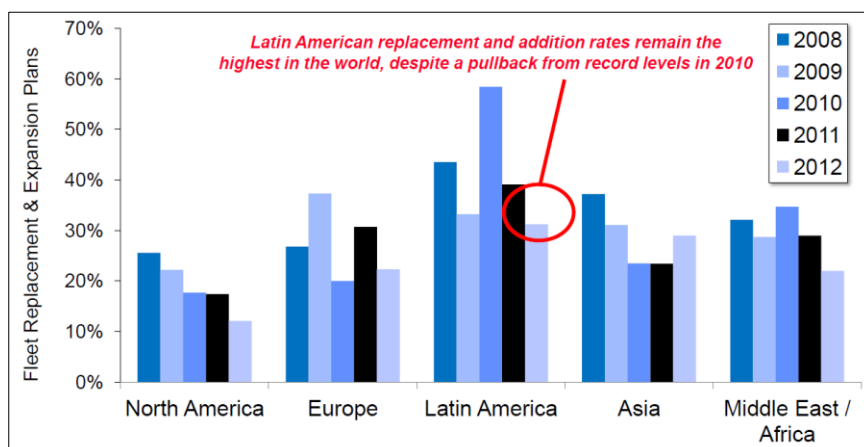


Figura 1.8 – Percentuale di elicotteri acquistati e sostituiti per regione (Fonte: Honeywell forecasts)

Come si può notare in Figura 1.8, l'unico continente che ha registrato un trend di crescita nel mercato d'acquisto di elicotteri civili nel periodo 2010-2012 è l'Asia.

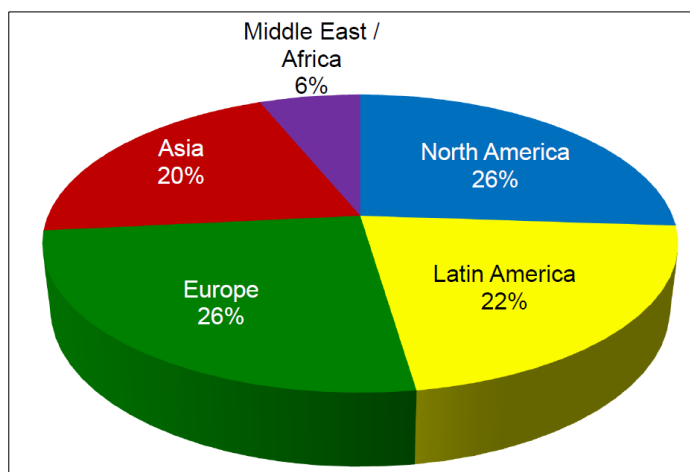


Figura 1.9 – Domanda d'acquisto di elicotteri civili nel quinquennio 2012-2016 per regione (Fonte: Honeywell forecasts)

La Figura 1.9 mostra invece come il mercato americano detenga il 48% della quota d'acquisto mondiale e come le previsioni mostrino una netta concorrenza tra il mercato europeo e quello statunitense.

E' inoltre interessante investigare il comportamento del mercato degli elicotteri civili nell'ultimo decennio a proposito della classe dimensionale dei mezzi: la Figura 1.10 evidenzia come vi sia una forte domanda degli elicotteri leggeri monoturbina, una leggera ma importante crescita nell'interesse per gli elicotteri pesanti multiturbina e soprattutto un net-

to incremento nel mercato d'acquisto dei velivoli "intermedi" biturbina specialmente nell'ultimo biennio.

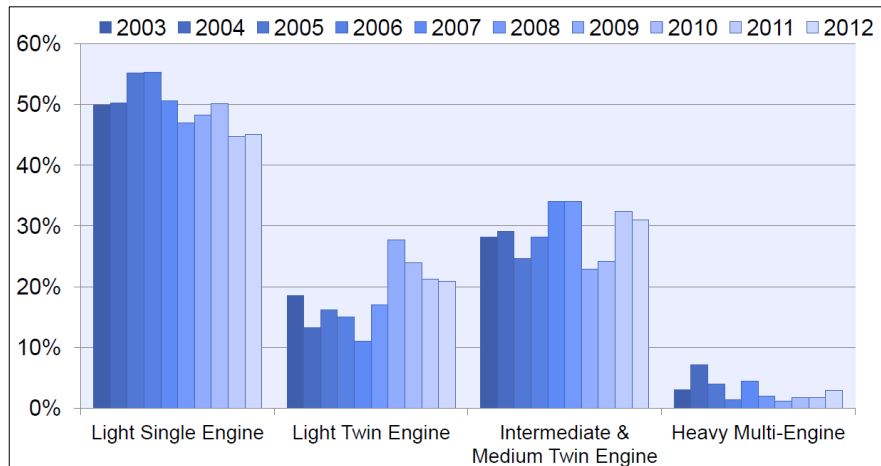


Figura 1.10 – Piani di acquisto di nuovi elicotteri civili per classe di dimensione (Fonte: Honeywell forecasts)

Altre statistiche del mercato da tenere in conto riguardano l'acquisto di nuovi mezzi in relazione al loro utilizzo. La Figura 1.11 mostra elevate percentuali per usi aziendali, seguiti da valori che oscillano tra il 10% e il 30% per elicotteri adibiti a servizi medici di emergenza o utilizzati dalle forze dell'ordine (quest'ultimo si è rivelato un mercato in forte crescita nel 2012).

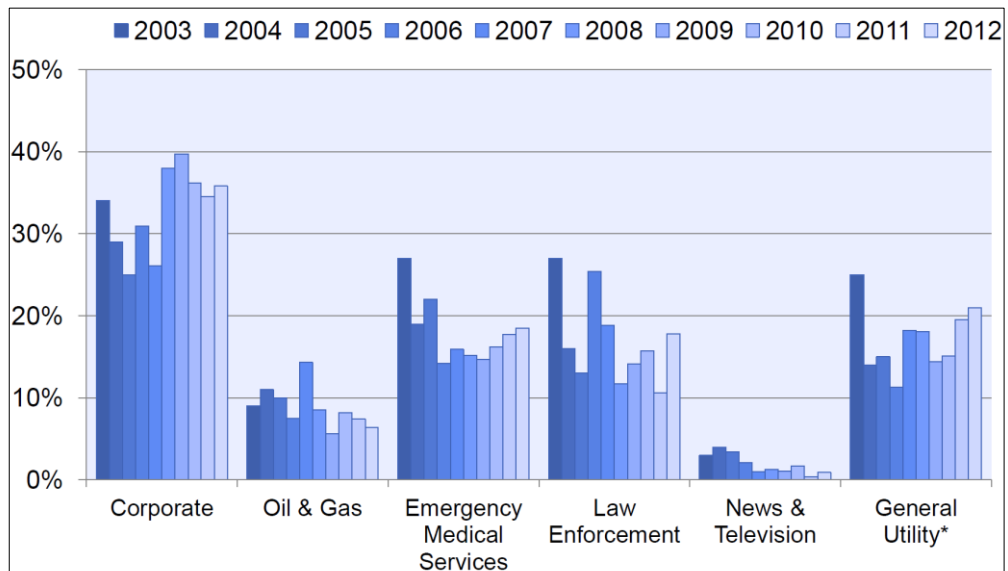


Figura 1.11 – Piani di acquisto di nuovi elicotteri civili per classe di utilizzo
*per utilità generale si intende turismo, agricoltura, test sperimentali etc.
(Fonte: Honeywell forecasts)

1.3 Infrastrutture eliportuali per trasporto pubblico: esperienze internazionali

L'utilizzo dell'elicottero per servizi di trasporto passeggeri ha trovato negli anni, sin dalla prima pionieristica esperienza europea del 1938, con i collegamenti Bruxelles – Liegi – Maastricht – Colonia – Bonn, Bruxelles – Anversa – Rotterdam e Bruxelles – Lille operati dalla compagnia belga *Sabena*, molte difficoltà relative principalmente ai fattori che più affliggono lo sviluppo di questa tipologia di trasporto ovvero i costi di esercizio relativamente elevati rispetto alle altre modalità e le problematiche connesse all'impatto ambientale dei mezzi. Oggi esistono diversi vettori che offrono servizi schedulati, alcuni dei quali hanno però cessato la loro attività a causa della crisi economica che ha interessato il panorama europeo negli ultimi anni. Sta nascendo tuttavia una nuova concezione del servizio elicotteristico, visto non più come mezzo di trasporto principale ma come modo secondario per “accedere” al servizio “primario”. L'esempio tipico è quello dei collegamenti eliporto-aeroporto: le compagnie stanno all'uopo lavorando cercando di curare in particolare la fase di trasferimento dei passeggeri dal mezzo ad ala rotante a quello ad ala fissa, trasferimento che avviene direttamente sull'air-side aeroportuale ed in particolare, i servizi annessi (biglietto unico integrato, gestione unica dei bagagli, *check-in through* etc.). In quest'ottica è possibile inquadrare il trasporto elicotteristico come “complementare”, in grado di offrire all'utente quella capillarità degli spostamenti di breve-medio raggio che i sistemi “*hub&spoke*” e “*point-to-point*” garantiscono solamente in parte. Attualmente i servizi regolari di linea sono relativamente pochi, specialmente in Europa, dove l'elicottero viene utilizzato per raggiungere aree scarsamente accessibili (ad esempio le isole remote nel nord della Gran Bretagna) o caratterizzate da domanda di trasporto ad alto budget come nel caso del collegamento tra l'eliporto di Monaco Fontvieille e l'aeroporto di Nizza. Di seguito si riporta una rassegna di alcuni servizi elicotteristici e delle relative infrastrutture utilizzate per il trasporto passeggeri nel mondo.

1.3.1 Il collegamento Monaco-Nizza

La compagnia *Heli-Air Monaco* effettua collegamenti tra l'eliporto di Monaco Fontvieille e l'aeroporto di Nizza-Cote D'Azur per tutto l'anno solare con frequenze che variano a seconda del periodo: ovviamente il servizio è potenziato nei mesi estivi, nei quali si raggiungono i 24 voli giornalieri nei due sensi alle tariffe di 110 € per la tratta Monaco-Nizza, di 125 € per la tratta Nizza-Monaco e 220 € andata e ritorno. La durata del volo necessaria a coprire i 25 km che separano le due località è di 7 minuti al netto dei tempi di imbarco e

sbarco. La flotta è composta da 14 elicotteri. La compagnia offre anche la possibilità di effettuare voli (non schedati) verso altre destinazioni turistiche della Costa Azzurra (Cannes, Saint Tropez) e delle Alpi Francesi. L'infrastruttura eliportuale di Monaco si trova nel quartiere di Fontvieille in una posizione strategica, a ridosso della costa e a pochi passi dai porti turistici di Cap D'Ail e Fontvieille. Tale localizzazione consente, infatti, di contenere l'impatto acustico dei velivoli (i quali decollano e atterrano solamente nella direzione del mare) e di garantire un accesso rapido ai due porti principali del Principato (Figura 1.12).



Figura 1.12 – Inquadramento territoriale dell'eliporto di Monaco

L'eliporto consta di due piattaforme che possono scorrere su guide che consentono di separare il piazzale, composto da 6 stand, dalle zone di decollo e atterraggio (Figura 3.13). Il terminal è formato da un'unica hall, dove si trovano servizi quali biglietterie, ufficio di polizia, zona di consegna e ritiro bagagli, toilette, ristorazione ed informazioni sulle coincidenze dei voli con l'aeroporto di Nizza.



Figura 1.13 – Eliporto di Monaco

Il collegamento vanta più di 100.000 passeggeri trasportati all'anno, principalmente uomini d'affari o passeggeri *leisure* ad elevato reddito.

1.3.2 I servizi elicotteristici dell'area newyorkese

A New York City esistono diverse infrastrutture eliportuali, la maggior parte delle quali si trovano nell'isola di Manhattan: tra i più noti eliporti troviamo il *Manhattan Downtown Heliport* localizzato sul Pier 6, il *West 30th street Heliport* e l'*East 34th street Heliport* localizzati rispettivamente sui moli prospicienti le rive dei fiumi Hudson e East. La compagnia *US Helicopter* ha effettuato in passato collegamenti giornalieri tra gli eliporti *Downtown* e *East 34th street* e gli aeroporti JFK e Newark, localizzati rispettivamente a 25 km e 16 km dall'isola di Manhattan. La durata dei voli era di circa 8 minuti, prestazione assolutamente competitiva rispetto a quella raggiungibile con qualsiasi altro mezzo, considerati gli elevati livelli di congestione dell'area newyorkese. Venivano effettuati circa 13 voli giornalieri da ciascuno degli eliporti verso i due aeroporti ad una tariffa di circa 115 €. Nel 2009, a causa di problemi finanziari, la compagnia fallì e non operò più i collegamenti con elicotteri verso gli aeroporti. Oggi esistono diverse compagnie che operano le tratte eliporti-aeroporti (anche con l'aeroporto La Guardia) eseguendo però voli non schedati a tariffe nettamente superiori (circa 600 euro a persona).

1.3.3 I collegamenti Hong Kong-Macau-Shenzhen

Uno dei collegamenti elicotteristici più longevi è quello effettuato dalla compagnia *Sky Shuttle* tra gli eliporti di Hong Kong, Macau e Shenzhen. *Sky Shuttle* offre 54 collegamenti al giorno, con voli in partenza ogni 30 minuti tra Macao e Hong Kong e 12 collegamenti al giorno tra Macao e Shenzhen: ciascun volo ha una durata di 15 minuti. I passeggeri trasportati in un anno superano i 150.000. Le tariffe variano a seconda del periodo dell'anno ma generalmente si aggirano intorno ai 350 € per tratta. La flotta è composta da nuovi AW139 biturbina da 12 posti. Le infrastrutture eliportuali sono di tipologie differenti: gli eliporti di Macau e di Hong Kong sono realizzati su moli ed i relativi terminal sono direttamente connessi agli accessi per i traghetti che collegano le isole con la terraferma (il servizio via mare è offerto dalla medesima compagnia). In particolare, l'infrastruttura di Macau è una delle più innovative al mondo (Figura 1.14) essendo caratterizzata da un'accessibilità *tout-court* (ferrovia, metropolitana, terminal bus, taxi etc.)

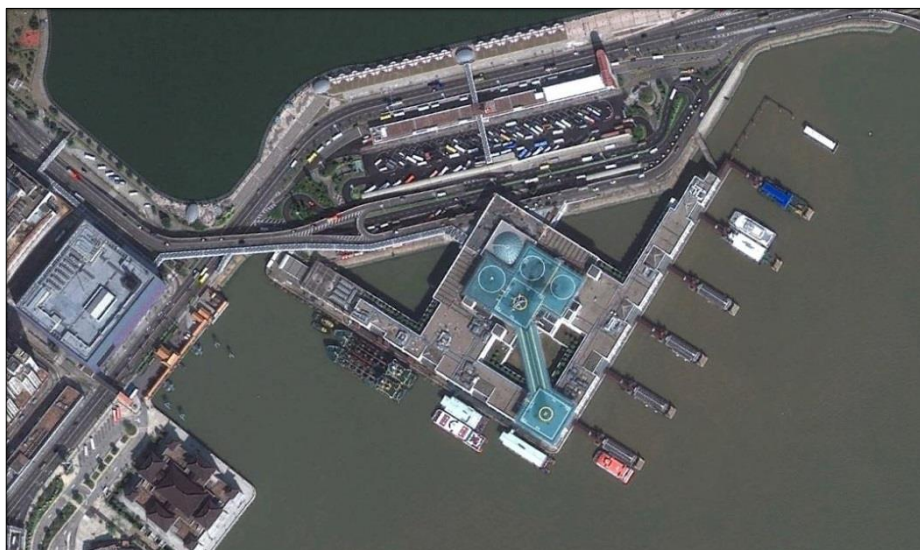


Figura 1.14 – Eliporto di Macau

L'eliporto di Shenzhen è invece localizzato nei pressi dell'aeroporto internazionale Bao'an. I voli per Shenzhen sono operativi tutti i giorni della settimana per un totale di 8 collegamenti al giorno ai quali si aggiunge un volo notturno di durata pari a 25 minuti e ad una tariffa superiore. Il punto di forza del servizio offerto dalla compagnia risiede nel meccanismo di compensazione economica tra costi e ricavi dei due servizi (via terra e via mare). *Sky Shuttle* offre inoltre possibilità di collegamenti charter verso altre destinazioni facendo perno sui tre eliporti principali.

1.3.4 I collegamenti dello stretto di Gibilterra

La compagnia spagnola *Inaer* ha offerto sin dal 1996 collegamenti tra l'aeroporto di Malaga, l'eliporto di Algeciras e la città di Ceuta situata nell'Africa spagnola. I voli erano stabiliti in 5 al giorno per tratta con durata di circa 25 minuti (tra Ceuta e Malaga) a tariffe variabili in funzione dell'età dei passeggeri e dei residenti (da 65 € a 134 €). Il collegamento vantava circa 22.000 passeggeri annui. La società ha annunciato la chiusura del servizio nel marzo del 2012, decisione strategica basata esclusivamente su criteri di fattibilità economica e di business. Negli ultimi anni, *Inaer* è diventato l'operatore di riferimento in Europa per i servizi di emergenza con elicotteri ad alto valore aggiunto in termini sociali, come la ricerca e soccorso, i trasferimenti e le emergenze mediche e la lotta antincendio, operazioni che costituiscono il *core business* della società. Più precisamente, nel 2008 solo il 5% del fatturato di *Inaer* derivava dal trasporto passeggeri, mentre il 44% era relativo alle operazioni di elisoccorso e di protezione civile, il 22% dalla prevenzione incendi ed il 26% da attività *off-shore*. Negli ultimi mesi del 2012, la fornitura del servizio che collegava le

due sponde dello Stretto di Gibilterra, è diventata estremamente complesso, soprattutto a causa del contesto economico internazionale, gli aumenti costanti del prezzo del greggio e le difficoltà operative, quali i collegamenti nazionali. Inoltre, gli orari di apertura limitati degli eliporti in cui *Inaer* operava, unitamente a problemi frequenti e scioperi nel controllo del traffico aereo e le frequenti cancellazioni dei voli commerciali etc. hanno influito negativamente sulla redditività economica dell'azienda. Nell'aprile del 2013 il servizio è stato riattivato, in seguito anche alle pressioni esercitate dalle comunità locali. Attualmente la compagnia *Ceuta Helicopters*, operando con una flotta composta da Bell 412, garantisce 22 collegamenti giornalieri (11 per direzione) tra Ceuta e Algeciras, più 4 (due per direzione) con Malaga, nella fascia oraria 7:30 – 20:30. I prezzi variano da 30 € per i residenti fino a 160 € nel caso dei non residenti per Malaga. L'obiettivo dichiarato dalla compagnia è di creare un servizio in grado di gestire un intero pacchetto di prenotazioni che includa una tariffazione integrata di più servizi, sulla scia di quanto effettuato dalle compagnie aeree *low cost*. Restano ancora alcune difficoltà operative connesse ai vincoli normativi (ad esempio le restrizioni che vietano il rifornimento dei velivoli con passeggeri a bordo, fattore che permetterebbe di ridurre i tempi e dunque i costi del servizio erogato).

1.3.5 Il collegamento Vancouver-Victoria

La compagnia canadese *Helijet* effettua dal 1986 servizi giornalieri schedulati tra l'eliporto di Vancouver *Downtown Harbour* (Figura 1.15), l'aeroporto internazionale di Vancouver e l'eliporto di Victoria *Harbour Heliport Helijet* utilizzando il Sikorsky S76. I collegamenti a mezzo elicotteri sono molto convenienti in questa zona dal momento che per percorrere i 70 km di mare che separano le due località si impiegherebbero circa 3 ore con un traghetto contro i 35 minuti in elicottero. Le tariffe variano da 112 € in bassa stagione a 220 € in alta stagione. Le frequenze ed il numero di voli giornalieri variano a seconda del giorno della settimana e della stagione. In media si hanno comunque 22 voli tra i porti di Victoria e Vancouver ai quali vanno aggiunti i 6 collegamenti tra gli aeroporti delle due città. Vengono movimentati circa 100.000 passeggeri all'anno, la maggior parte dei quali sono uomini d'affari. Oltre al trasporto passeggeri di linea la società offre anche possibilità di effettuare trasferimenti charter, voli turistici nelle zone limitrofe, attività di elisoccorso e servizi cargo. La localizzazione degli eliporti in prossimità dei porti delle città consente, come nei casi di Monaco, Ceuta e delle isole cinesi, di contenere l'impatto ambientale degli elicotteri sul territorio e di fornire una ampia zona libera da ostacoli per le operazioni di decollo e atterraggio e per il volo in quota.



Figura 1.15 – Eliporto *Downtown Vancouver Harbour*

1.3.6 Un caso isolato in ambito nazionale: il collegamento Foggia-Isole Tremiti

L'unico servizio di trasporto pubblico di linea effettuato con elicotteri sul territorio nazionale è operato dalla società pugliese *Alidaunia*. Dal marzo 1986, con assenso ministeriale e in collaborazione con l'Assessorato ai Trasporti della Regione Puglia, l'*Alidaunia* effettua un servizio di linea con elicottero con corse giornaliere tra Foggia, le isole Tremiti e altre destinazioni regionali. Il servizio ha come scopo principale quello di garantire il collegamento tra i residenti delle isole e la terraferma anche quando, a causa di condizioni meteo avverse, i traghetti non possono assicurare il rifornimento di viveri e farmaci. Durante il periodo estivo, inoltre, l'elicottero diventa un mezzo comodo e veloce per i turisti, per raggiungere in breve tempo l'arcipelago. Tale servizio è integrato dall'attività di elisoccorso, anche nell'arco notturno, a favore della popolazione residente sulle isole. Dal 2000, sempre in collaborazione con la Regione Puglia, durante la stagione estiva, l'*Alidaunia* effettua voli giornalieri di collegamento tra Foggia e le isole Tremiti con importanti località del promontorio garganico quali San Giovanni Rotondo, Peschici e Vieste. Il servizio denominato "*Helibus*" viene effettuato con frequenza giornaliera presso eliporti/elisuperfici appositamente predisposte. Quest'attività ha trovato notevole riscontro presso gli enti e le popolazioni locali; l'obiettivo è di creare una rete di trasporti efficiente e rapida che possa collegare tra loro alcune tra le più importanti località turistiche del Gargano, per dare un ulteriore impulso ai flussi turistici, sia quelli indirizzati verso località balneari, sia quelli interessati ad un turismo di tipo religioso.

Nel mese di Agosto 2002, sempre nell'ottica di ampliamento dei collegamenti con le isole Tremiti, è stato effettuato un servizio di trasporto passeggeri a richiesta tra la città di Ter-

moli e le isole Tremiti. Anche in questo caso le richieste sono state numerose e si auspica in futuro di includere anche Termoli tra le località interessate dal servizio *Helibus* sopra citato. Vengono offerti 4 voli al giorno con AW139 ad una tariffa media di 35 €: quest'ultima varia con la stagionalità, l'età e la residenza con un minimo di 2,50 € per i neonati residenti ad un massimo di 50 € per gli adulti in alta stagione). I passeggeri trasportati in un anno superano i 20.000. Dal 2010 ha avuto inizio una lunga serie di inaugurazioni di elisuperfici (Melendugno, Supersano, Celenza Valfortore etc.) dislocate lungo tutta la regione Puglia (Figura 1.16) con l'obiettivo di creare una vera e propria rete di trasporto a mezzo elicottero su un territorio svantaggiato dal punto di vista sia morfologico che della mobilità interna. Gli altri servizi offerti dalla compagnia pugliese riguardano il trasporto pubblico delle merci, l'aero-taxi, i voli di emergenza e di elisoccorso, i corsi di addestramento al volo, il lavoro aereo e i servizi di manutenzione.

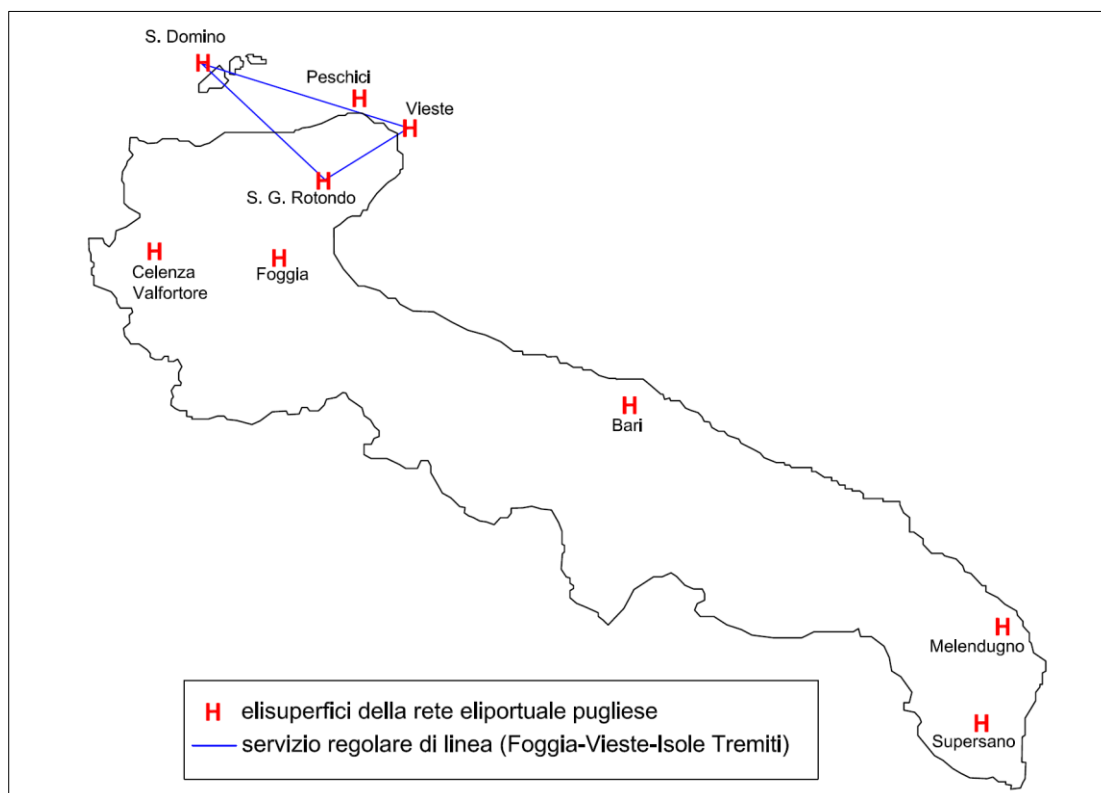


Figura 1.16 – Rete eliportuale pugliese

Il caso dell'*Alidaunia* è particolarmente importante in quanto il servizio offerto è stato riconosciuto dalla Regione Puglia come “di pubblica utilità”: per tale motivo la società gode di sovvenzioni pubbliche erogate dall'ente nel quadro del contratto di servizio elicotteristico stipulato nel contesto normativo del trasporto pubblico locale per un importo pari a circa 1,5 milioni di euro all'anno, calcolati sulla base di un corrispettivo di 13 €/km, di una percorrenza annua programmata in 114.000 eli-km/anno e di una serie di servizi aggiuntivi of-

ferti. Tale sostegno economico consente alla compagnia di praticare tariffe più contenute rispetto agli altri casi precedentemente illustrati ed assicurare la continuità del servizio anche in presenza di un flusso di passeggeri non particolarmente elevato.

1.3.7 Altre infrastrutture eliportuali di interesse

Altre infrastrutture eliportuali di notevole interesse sia dal punto di vista dell'ubicazione sia da una prospettiva prettamente costruttiva e strutturale, sono l'eliporto di Tokyo e l'eliporto di Nizza, quest'ultimo localizzato sull'air-side dell'aeroporto di Nizza. L'eliporto di Tokyo è un'infrastruttura sulla quale operano elicotteri per servizi di trasporto passeggeri non schedulati, elisoccorso, voli turistici e delle forze dell'ordine locali. La struttura in questione è una delle più grandi del mondo in termini di air-side, in quanto consta di una piattaforma di decollo/atterraggio e di 38 piazzole per lo stazionamento in grado di accogliere elicotteri di dimensioni variabili (Figura 1.17).



Figura 1.17 – Eliporto di Tokyo

Nell'eliporto operano circa 15 compagnie tra le quali il *Tokyo Metropolitan Police Department*, il *Tokyo Fire Department* ed altri corpi speciali dell'area metropolitana della capitale nipponica.

Come già evidenziato, l'eliporto di Nizza è invece localizzato all'interno del sedime aeroportuale dello scalo francese, nella zona più prossima alla costa, a una distanza di circa 200 metri dall'asse della pista di volo per aeromobili ad ala fissa (Figura 1.18).



Figura 1.18 – Localizzazione dell'eliporto di Nizza

L'infrastruttura consta di 2 piattaforme di decollo/atterraggio e di 14 piazzole di stazionamento, di cui 6 in grado di accogliere elicotteri di grandi dimensioni (diametro del rotore principale fino a 17,2 m). L'apron dedicato, è collegato direttamente all'area landside per mezzo di un sistema di viabilità sotterraneo che permette di bypassare il sistema di piste e vie di rullaggio per gli aeromobili convenzionali, minimizzando così il rischio d'interferenze tra le due tipologie di traffico e consentendo al contempo ai passeggeri un accesso rapido e diretto al servizio. Come si evidenzierà nel seguito del lavoro, gli enti notificatori internazionali specificano dei requisiti geometrici particolari per la progettazione di eliporti all'interno di aeroporti in quanto, in questo caso particolare, il tema della *safety culture* diventa ancor più importante. Rilevante è anche il regime di navigazione imposto dall'ente per l'assistenza al volo d'oltralpe, al fine di garantire le adeguate separazioni tra le due tipologie di velivoli specialmente nelle fasi di decollo ed atterraggio. Nel servizio di AIS (*Aeronautical Information Service*) sono pubblicate delle procedure ben precise per le manovre di decollo ed atterraggio di aeromobili ed elicotteri, differenziando il caso di operazioni sulla testata 22 o sulla testata 04 (si veda l'estratto dell'AIP in Figura 1.19).

Si può notare come le operazioni avvengano nella stessa direzione sia per i velivoli ad ala fissa che per quelli ad ala rotante: sono riportati alcuni punti di riferimento per la navigazione che permettono l'inserimento dell'elicottero all'interno del circuito di volo della costa. Sull'eliporto sono inoltre consentite operazioni in volo VFR notturno sotto determinate condizioni di visibilità, aspetto non indifferente dal punto di vista dell'operabilità del mezzo ad ala rotante.

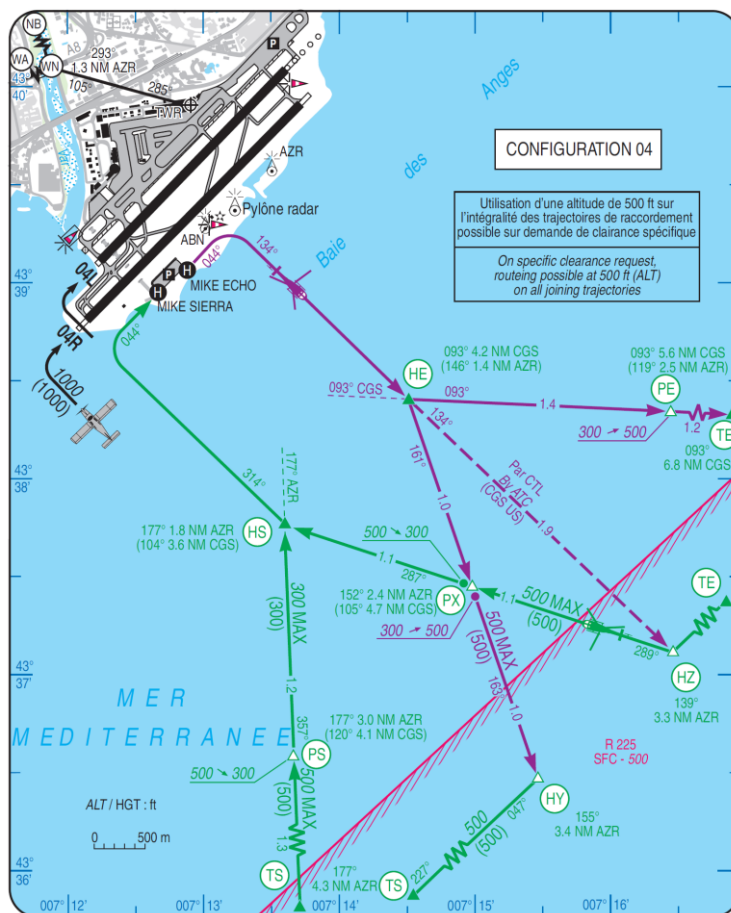


Figura 1.19 – Estratto dell’AIP – Eliporto di Nizza

Un caso attuale di progettazione di servizi elicotteristici è quello di Andorra. Il Principato di Andorra ha recentemente posto l’attenzione sul miglioramento delle infrastrutture per consentire l’accesso rapido, semplice e conveniente al territorio.

Il governo della Catalogna ha accettato di sostenere economicamente il Principato per il completamento dei lavori necessari di un’infrastruttura per consentire voli commerciali in elicottero, dando accesso quasi immediato ad Andorra. L’importanza di un collegamento rapido ed efficiente al territorio è cruciale dal momento che Andorra e dintorni ricevono più di 8 milioni di turisti all’anno. I vantaggi evidenti per Andorra e la zona circostante, e i benefit economici di cui beneficerà la Spagna del nord (in pesante recessione fiscale) costituiscono la ragione per dare il via libera al finanziamento del completamento dell’eliporto.

Recentemente è stato varato anche uno studio di fattibilità di tre nuove zone candidate a ospitare l’eliporto di Andorra. Attualmente Andorra ha circa 7 aeroporti internazionali all’interno di una *catchment area* di 300 km, ed il servizio elicotteristico potrebbe consentire di raggiungere il Principato in soli 20 minuti, a partire dai grandi aeroporti, contro le 2

ore e mezza necessarie ad oggi, utilizzando i mezzi di trasporto terrestri. La creazione di una tale infrastruttura e l'istituzione del relativo servizio potrebbero inoltre dare il via ad uno sviluppo commerciale e turistico della zona.

Un altro caso è quello dell'investimento stanziato da una compagnia aerea russa, pari a circa 100 milioni di dollari, per la creazione di un'infrastruttura eliportuale situata nel bacino di traffico moscovita, che, a detta delle più autorevoli fonti in materia, sarà la più grande in Europa ed opererà con elicotteri pesanti per la fornitura di collegamenti rapidi tra il centro di Mosca e la periferia. L'eliporto offrirà inoltre un servizio di collegamento diretto con l'aeroporto internazionale di Mosca Sheremetyevo, di durata pari a 5 minuti ad una tariffa di circa 40 euro.

1.4 Aspetti concernenti la *safety* nelle operazioni con gli elicotteri

Il tema della *safety* delle operazioni condotte con gli elicotteri è sotto l'attenzione costante sia delle industrie che operano nel settore sia dei progettisti e dei pianificatori delle infrastrutture. Gli incidenti che hanno riguardato questi particolari mezzi, legati alle più svariate ed a volte impensabili cause, hanno contribuito pesantemente a frenare l'affermazione dell'elicottero come mezzo di trasporto. Il ragionamento seguito è tanto più vero quanto più l'evento ha avuto ricadute dirette sulla comunità. Basti pensare all'avvenimento dell'impatto al suolo dell'AW109 nel quartiere di Vauxhall a Londra (uno dei quartieri più densamente popolati della capitale britannica) del 16 gennaio 2013, a causa delle condizioni meteorologiche avverse, che ha provocato la morte di 2 persone (tra cui un passante) ed il ferimento di 13 persone. In quel caso la notizia diffusa su tutti i media ha innalzato istantaneamente il livello d'allerta per tutte le operazioni con elicotteri condotte sul cielo di Londra e in particolar modo, le pressioni esercitate dall'opinione pubblica e dalle comunità locali hanno spinto il governo a prendere la decisione di rivisitare quelle che erano le normative sulle procedure di navigazione al di sopra della capitale inglese, fino ad allora quasi "trascurate". In linea del tutto generale, si può affermare che il primo passo di un'attenta *safety culture* consiste nel monitoraggio, nella registrazione e nella classificazione di tutti gli eventi che implicino un danno a persone o cose, durante le operazioni. Sono diversi i Paesi che dispongono di enti ed associazioni specifiche, le quali si occupano della registrazione degli eventi, delle investigazioni aeronautiche, e di riunire le parti coinvolte (industrie, operatori, organizzazioni ed enti di ricerca) in un unico tavolo tecnico. A livello europeo opera l'EHST (*European Helicopter Safety Team*), un gruppo di esperti che si occu-

pa dei metodi di implementazione della sicurezza degli elicotteri, a sua volta membro del IHST (*International Helicopter Safety Team*). Tale ente pubblica periodicamente report che contengono dati e statistiche sugli incidenti e sugli inconvenienti durante operazioni con elicotteri condotte su territorio europeo. Lo scopo è, congiuntamente alle intenzioni dell'IHST, di ridurre il tasso d'incidentalità delle operazioni dell'80% entro il 2016. L'ente mette a disposizione tutta la documentazione di ausilio per una corretta *Risk Analysis*, l'identificazione dei rischi e l'implementazione del SMS (*Safety Management System*). Le ultime statistiche pubblicate dall'EHEST mostrano dei risultati incoraggianti per quanto riguarda l'obiettivo prefissato della riduzione degli incidenti. In particolare si è registrata un'attenuazione del numero di eventi con un tasso del 37,7% nel periodo 2006-2011 (Figura 1.20). E' interessante fare luce sulle cause che comportano gli incidenti. Le statistiche mostrano come il fattore umano ed in particolar modo l'uso errato dei comandi di volo sia la principale causa degli eventi segnalati. Altre cause comuni sono l'insieme degli impatti ("strike") con corpi al suolo o cavi posti ad una certa quota, la perdita di controllo, le condizioni meteorologiche avverse. In Figura 1.21 si riporta una rassegna delle 13 principali cause di incidente.

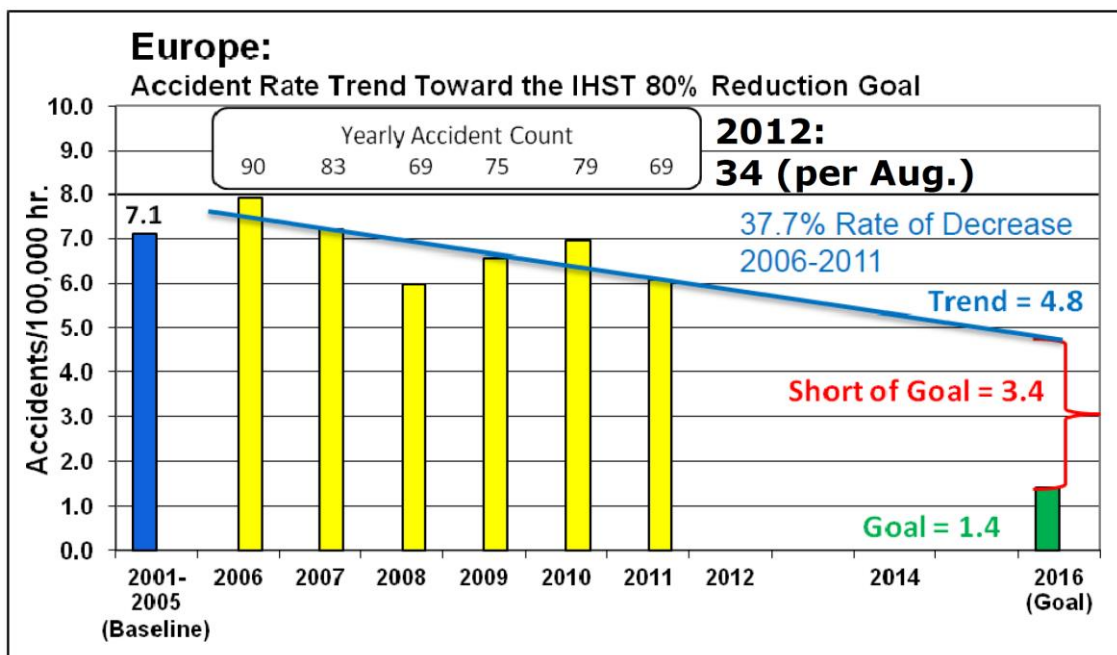


Figura 1.20 – Andamento del numero di incidenti nell'ultimo decennio (Fonte: EHEST)

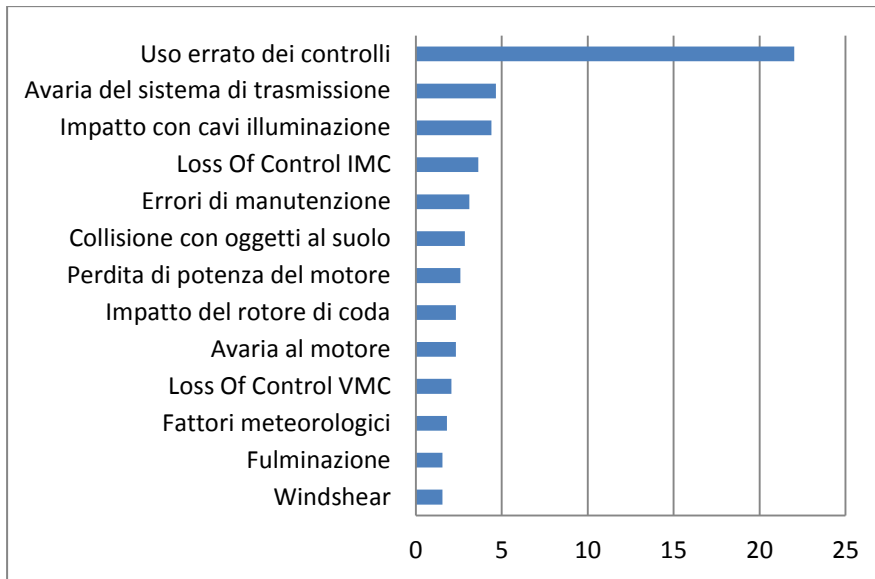


Figura 1.21 – Elenco delle principali cause di incidenti con elicotteri

Da circa un decennio diversi enti corporativi e istituti di ricerca in ambito aeronautico stanno lavorando sullo sviluppo di sistemi tecnologicamente avanzati che possano contribuire in maniera drastica alla riduzione del rischio di incidente. Alcuni di questi sistemi sono:

- Sensori per il riconoscimento degli ostacoli naturali e artificiali;
- Sistema predittivo per la riduzione del rischio di impatto al suolo;
- Sistema dispiegabile per l'attenuazione dell'impatto al suolo;
- Pale del rotore rivestite per evitarne l'erosione;
- Sistema dinamico della postazione di guida per l'attenuazione delle vibrazioni.

Sembra evidente che tutte queste tecnologie, seppur utili ai fini della *safety*, da sole non bastano a scongiurare il rischio in quanto molto deve essere ancora sviluppato nell'ambito delle procedure di volo strumentali e soprattutto nei fattori che influenzano la percezione del pilota specialmente nelle fasi di decollo ed avvicinamento alle infrastrutture a terra. In quest'ultimo caso, di fondamentale rilevanza è la progettazione del layout degli eliporti nonché la standardizzazione della segnaletica verticale, orizzontale e luminosa.

In ambito nazionale, l'Ente preposto per la sicurezza aeronautica è l'Agenzia Nazionale per la Sicurezza del Volo (ANSV) il cui compito, oltre allo svolgimento delle inchieste di sicurezza relative agli incidenti ed inconvenienti aeronautici emanando le opportune raccomandazioni, è quello di condurre attività di studio per assicurare il miglioramento della sicurezza del volo.

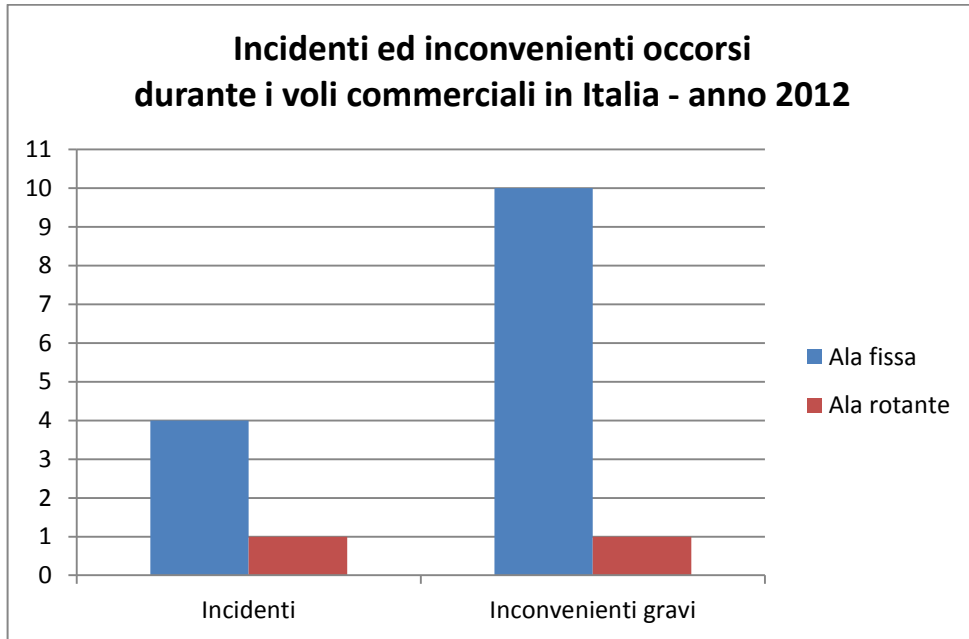


Figura 1.22 – Statistiche ANSV 2012 (elaborazione su Fonte ANSV)

L'ANSV pubblica dei report con cadenza annuale in cui sono riassunti gli incidenti e/o gli inconvenienti aeronautici occorsi nonché le opportune raccomandazioni. Per quanto riguarda il settore del trasporto elicotteristico, le ultime statistiche sono relativamente incoraggianti: come evidenziato in Figura 1.22 il numero di incidenti ed inconvenienti aeronautici occorsi ad elicotteri utilizzati per servizi commerciali in ambito nazionale nell'anno 2012 è relativamente contenuto, se confrontato con i velivoli ad ala fissa. La Figura 1.23 mostra inoltre la distribuzione degli eventi di interesse ANSV nel periodo 2007-2012 relativi al settore elicotteristico. Si può notare come i numeri relativi all'ambito nazionale siano sempre più contenuti rispetto a quelli relativi all'estero, seppur con un andamento "altalenante" nel corso dell'ultimo quinquennio.

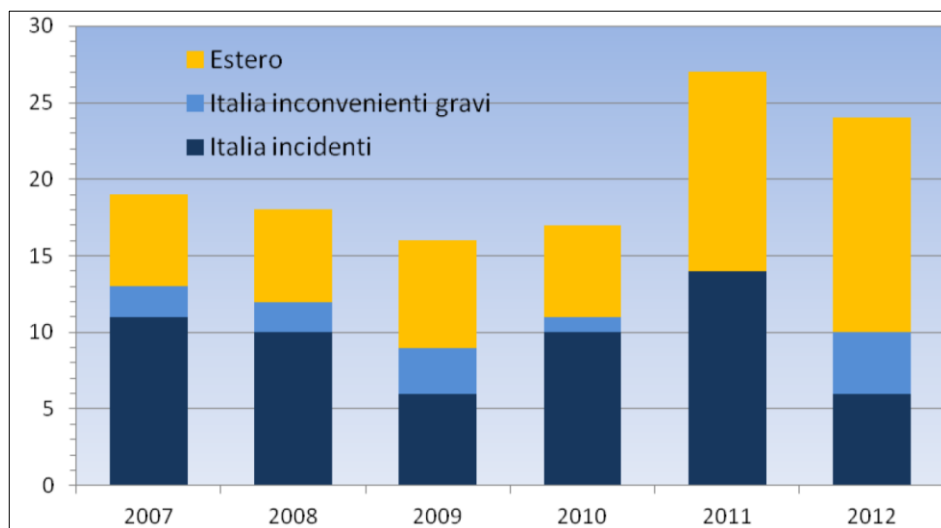


Figura 1.23 – Statistiche ANSV 2007-2012 (Fonte: ANSV)

CAPITOLO 2

Il quadro normativo dell'uso civile dell'elicottero

Premessa

Questo capitolo ha l'obiettivo di chiarire il significato di alcuni concetti sulla progettazione eliportuali che saranno utilizzati nel seguito della trattazione, di far luce sulle più recenti normative nazionali ed internazionali sulla pianificazione, progettazione e gestione delle infrastrutture adibite alla movimentazione dei mezzi ad ala rotante nonché sulle norme che regolano l'operatività degli elicotteri ed i parametri ambientali, senza però entrare nel merito delle specifiche tecniche, oggetto dei capitoli successivi. Una considerazione doverosa è la seguente: nonostante gli sforzi compiuti dagli enti notificatori nazionali, la normativa italiana in questo settore rimane ancora frammentaria e imprecisa sotto alcuni aspetti, soprattutto in riferimento alle direttive internazionali. L'allineamento con il livello di dettaglio fornito dagli enti statunitensi rimane ancora un miraggio, probabilmente a causa della minore diffusione e "densità" di utilizzo di questo mezzo sul territorio nazionale. Per tale motivo è auspicabile un rapido e continuo lavoro di aggiornamento della normativa in merito alle infrastrutture eliportuali, al fine di assicurare livelli sempre più elevati di *safety* e di accrescere l'interesse verso questa straordinaria e alternativa modalità di trasporto.

2.1 Il concetto di "eliporto"

Prima di entrare nel merito della trattazione, è bene chiarire le idee sul significato dei termini che si ripeteranno nelle pagine del presente lavoro. E' innanzi tutto fondamentale specificare il concetto di *eliporto*: con questo termine si intende "un aerodromo o un'area definita su una struttura intesa ad essere utilizzata interamente o in parte per l'atterraggio, il decollo e la movimentazione al suolo degli elicotteri". Diverso invece è il concetto di *elisuperficie* essendo quest'ultima un'aviosuperficie destinata all'uso esclusivo degli elicotteri, che non sia un eliporto. La differenza fondamentale tra le due infrastrutture risiede quindi nel fatto che, a differenza della seconda, la prima deve essere obbligatoriamente registrata presso gli enti statali competenti e, verosimilmente, nella complessità delle strutture land-side ed air-side. Esempi di elisuperfici sono le superfici di decollo/atterraggio loca-

lizzate sui tetti degli edifici, a bordo delle navi o su piattaforme petrolifere off-shore o ancora su pontoni galleggianti o fissi (*helideck*), le piattaforme ospedaliere, o semplici aree a livello del suolo o in elevazione adibite al decollo e all'atterraggio degli elicotteri (*heli-pad*). Qualora l'infrastruttura consti delle superfici essenziali per il decollo e l'atterraggio degli elicotteri e sia priva di eventuali aree, strutture e servizi accessori per lo stazionamento dei velivoli, l'imbarco e lo sbarco dei passeggeri, l'*hangaraggio*, il *refueling* e la piccola manutenzione, essa prende il nome di *helistop*.

2.2 La normativa sulla progettazione e sulla gestione delle infrastrutture

Questo paragrafo ha lo scopo di mettere a fuoco il panorama legislativo internazionale e nazionale sulla progettazione delle infrastrutture adibite alla movimentazione degli elicotteri, siano esse semplici piattaforme di decollo e atterraggio oppure veri e propri eliporti dotati di un land-side e di un air-side in grado di offrire circa gli stessi servizi che in genere si trovano in un aeroporto. Verrà dapprima presentata la normativa internazionale redatta dall'ICAO in materia di eliporti e, successivamente, si passerà ad analizzare le norme statunitensi della FAA ed infine le direttive europee e nazionali. Come già specificato, verranno in questa sede tralasciati gli aspetti meramente tecnici, riserbando tale livello di dettaglio ai capitoli successivi. Il target di queste pagine è dunque quello di mettere il lettore in condizione di poter comprendere al meglio le indicazioni degli enti e delle associazioni che operano nel settore e, in particolar modo, di avere chiaro il quadro degli enti notificatori, i relativi ruoli e compiti e gli ambiti di applicazione delle norme redatte da ciascuno di essi.

2.2.1 La normativa dell'*International Civil Aviation Organization* in materia di eliporti

Il testo normativo principale per la progettazione delle infrastrutture eliportuali è redatto dall'*International Civil Aviation Organization* (ICAO) ed è riconosciuto universalmente come il punto di riferimento in materia: tale documento è parte integrante dell'Annesso 14 e in particolare, è il secondo volume di tale Annesso (Annex 14 – Volume II), la cui ultima edizione è la terza (quinto emendamento), rilasciata dalla stessa ICAO nel luglio del 2009, con tutte le modifiche e le integrazioni effettuate sin dalla prima edizione del 1990. Va ricordato in questa sede che l'Annesso è una sorta di “codice” e l'applicazione dei suoi contenuti è demandata agli enti nazionali che, una volta recepito e adottato il documento, elaborano una propria normativa nazionale. La struttura del documento è quella tipica degli

Annessi redatti dall'ICAO: esso consta di *Standard* e *Recommended Practices*, le prime cogenti, le seconde suggerite ai fini dell'ottenimento di livelli più elevati di *safety*. Gli argomenti trattati nell'Annesso ricalcano le prescrizioni del Volume I (riguardante gli aeroporti) con le dovute considerazioni del caso eliportuale. Sono normate le caratteristiche fisiche degli eliporti, i dati di riferimento principali dell'infrastruttura (quali punto di riferimento, coordinate geografiche, elevazione, temperatura di riferimento etc.), le restrizioni sugli ostacoli nell'intorno del sedime e le relative indicazioni per la corretta schermatura o rimozione degli stessi, gli aiuti visivi verticali, orizzontali e luminosi, e infine, i servizi eliportuali con particolare riguardo alla protezione dal rischio di incendi. Per quest'ultima, l'ICAO consiglia di fare riferimento anche alle norme in materia emanate dalla *National Fire Protection Association (NFPA)*, statunitense, con particolare riguardo alle circolari n. 403 "*Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Services*", n. 407 "*Standard for Aircraft Fuel Servicing*" e n. 418 "*Standard for Heliports*".

Il documento ICAO, che può considerarsi il vero e proprio "decreto attuativo" dell'Annesso, è il Doc 9261-AN/903 intitolato "*Helicopter Manual*". In questo documento emerge un maggiore livello di dettaglio nelle prescrizioni tecniche riguardanti la progettazione. Inoltre è presente una differenziazione riguardante la localizzazione degli eliporti (a livello del suolo, sopraelevati, su piattaforme, su navi). L'unica edizione del documento che l'ICAO mette a disposizione è datata 1995 e per tale motivo alcune delle indicazioni contenute al suo interno andrebbero rivisitate alla luce dell'evoluzione tecnologica dei mezzi e delle nuove esigenze di mobilità scaturite negli ultimi anni. Per chi dovesse intraprendere l'iter di pianificazione e di progettazione di un'infrastruttura eliportuale, è infatti vivamente consigliato di fare riferimento alla nuova edizione dell'Annesso 14 del 2009, più completa ed aggiornata rispetto all' "*Helicopter Manual*".

Diverse commissioni e associazioni, alcune identificate come "sottogruppi" dell'ICAO, quali, ad esempio, l'*Aerodrome Panel (AP)*, l'*Helicopter Design Working Group (HDWG)*, l'*Helicopter Design Study Group (HDSG)*, il *Visual Aids Working Group (VAWG)*, altri come l'*Helicopter Association International (HAI)*, l'*International Federation of Helicopter Associations (IFHA)* o l'*International Helicopter Safety Team (IHST)*, collaborano tra loro al fine di apportare miglioramenti alla normativa in materia di eliporti e provvedono in modo continuativo ad integrare l'Annesso 14 con nuove prescrizioni che riguardano problematiche frutto di incontri con gli *stakeholders*. Essi propongono in particolare delle versioni sempre aggiornate dell'Annesso 14 – Volume II, dette *Tranche*, e rilasciate dall'ICAO.

2.2.2 La normativa della *Federal Aviation Administration*

La *Federal Aviation Administration* (FAA) è l'agenzia del Dipartimento di Trasporti statunitense incaricata di regolamentare e sovrintendere ogni aspetto riguardante l'aviazione civile. E' inoltre una delle due agenzie mondiali responsabili della certificazione di nuovi aeromobili, insieme alla *European Aviation Safety Agency* (EASA). L'EASA non ha ancora emanato una vera e propria normativa sulla progettazione eliportuale e demanda l'autorità di legislazione in materia agli enti nazionali per l'aviazione civile.

La FAA è, inoltre, in ottemperanza alle prescrizioni della Part 139 del *Code of Federal Regulation* (CFR) statunitense, responsabile del rilascio del certificato di aeroporto in territorio U.S.A.

Per ciò che concerne gli eliporti però, la FAA ha stabilito che, al momento, la certificazione di tali infrastrutture non rientra nei criteri di pubblico interesse e per tale motivo ha esentato gli operatori e i gestori di rispettare i requisiti della Part 139 CFR. Dal momento che la legge statunitense non ha conferito alla FAA l'autorità di certificare le infrastrutture adibite ad operazioni di aviazione generale e la maggioranza delle operazioni negli eliporti sono di questo tipo, si ritiene, a detta della stessa agenzia, che la certificazione di eliporti interessati da operazioni schedate non porterebbe ad un concreto innalzamento del livello di *safety*. Per tale motivo, le indicazioni contenute nella Part 139 CFR sono pensate per le infrastrutture adibite ad accogliere i velivoli ad ala fissa e tali requisiti non possono applicarsi allo stesso modo agli eliporti. Tuttavia l'attività della FAA è volta ad incoraggiare il processo che porterà alla certificazione degli eliporti e ad incentivare i gestori di tali infrastrutture a seguire le indicazioni contenute nella circolare AC 150/5390-2 "*Heliport Design*" (l'ultima edizione, identificata con la lettera C, è stata pubblicata nell'aprile del 2012). Le prescrizioni contenute nella circolare possono, in taluni casi, essere cogenti per gli eliporti costruiti interamente o in parte con fondi federali. In molti aeroporti certificati dalla FAA, in accordo con le direttive della Part 139 CFR, operano vettori elicotteristici. Il gestore aeroportuale, in questo caso, non è tenuto a rispettare i requisiti della Part 139 CFR durante le operazioni sull'infrastruttura eseguite con elicotteri.

La circolare AC-2C (d'ora in avanti identificata in questo modo per brevità) ha lo scopo di definire gli standard per la progettazione degli eliporti destinati ad essere utilizzati da elicotteri dotati di un singolo rotore principale (sono esclusi, salvo alcuni casi, gli elicotteri tandem e i convertiplani). Il documento è suddiviso in capitoli, il primo dei quali è da considerarsi un'introduzione di carattere generale, le cui indicazioni sono comuni a tutte le ti-

pologie di eliporti, mentre i successivi capitoli contengono le prescrizioni per la pianificazione e la progettazione di eliporti per:

- *Aviazione generale*: tutti gli eliporti, siano essi di proprietà privata (nella maggioranza dei casi) o pubblica, destinati a consentire la movimentazione di elicotteri ad uso privato, aziendale o per servizi di air-taxi. In questa categoria rientrano tutti gli eliporti in cui non sono previste operazioni schedate;
- *Trasporto*: tutti gli eliporti destinati a consentire la movimentazione di elicotteri di grandi dimensioni di proprietà di vettori aerei che offrono servizi schedati o non schedati. Tali operazioni richiedono infrastrutture land-side ed air-side sufficientemente ampie con la capacità potenziale di operare in condizioni meteorologiche strumentali (*Instrument Meteorological Conditions – IMC*);
- *Emergenze Ospedaliere*: tutti gli eliporti di aviazione generale destinati a consentire la movimentazione di elicotteri per servizi medici di emergenza (*Helicopter Emergency Medical Services – HEMS*) e in alcuni casi particolari, di elicotteri militari di grandi dimensioni;
- *Eliporti all'interno di aeroporti*: tutte le infrastrutture, localizzate all'interno di un sedime aeroportuale e separate dalle infrastrutture per la movimentazione dei velivoli ad ala fissa, che consentono di eseguire operazioni con elicotteri quando il numero di queste è significativo.

Gli ultimi due capitoli sono dedicati alle indicazioni per le operazioni strumentali e alle pendenze da assegnare alle superfici di delimitazione degli ostacoli.

Per la progettazione dei terminali eliportuali, non vi è, ad eccezione di qualche indicazione di carattere generale contenuta nella AC-2C, una specifica normativa o una raccolta di linee guida, in quanto tali infrastrutture possono ritenersi di gran lunga di più semplice realizzazione e concezione in confronto a quelle relative allo smistamento dei notevoli flussi di passeggeri negli aeroporti. In linea di massima la FAA consiglia di fare riferimento ad una circolare rilasciata nel 1980, la AC 150/5360-9 “*Planning and design of airport terminal building facilities at nonhub locations*”, la quale è stata pensata per gli aeroporti di piccole dimensioni, ma può essere applicata, considerati i volumi di traffico, agli eliporti. Parallelamente alla circolare AC-2C, la FAA ha pubblicato una serie di circolari esplicative (serie 150/53XX) sulle specifiche tecniche che riguardano questioni inerenti alla progettazione di spazi, dispositivi, materiali e quant'altro rientri nelle problematiche della progettazione eliportuale.

2.2.3 La normativa dell'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile

Il documento di riferimento in materia di progettazione eliportuale in ambito nazionale è stato pubblicato, in prima edizione, dall'ENAC il 20 ottobre 2011 ed è il “*Regolamento per la Costruzione e l'Esercizio degli Eliporti*”. Il testo regolamentare, elaborato sulla base degli standard e delle raccomandazioni dell'Annesso 14 Volume II, contiene alcune integrazioni e modifiche rispetto alle stesse norme ICAO, dovute sia alla opportunità di tenere conto delle caratteristiche peculiari dell'aviazione civile italiana sia alla necessità di armonizzazione con il contesto normativo esistente in materia. Nel recepimento, in aderenza alle indicazioni dell'ICAO, le raccomandazioni sono state valutate singolarmente e adottate, ove ritenuto necessario, come requisito. Sulla base della definizione codicistica di aeroporto, il Regolamento introduce, per la prima volta, la nozione di *eliporto* inteso come “aeroporto ad uso esclusivo degli elicotteri impiegati in attività di trasporto commerciale”. Tale innovazione ha consentito di ampliare lo schema normativo preesistente che nel settore delle infrastrutture aeronautiche prevedeva soltanto le elisuperfici, integrandolo con l'istituzione degli eliporti in vista di un nuovo sviluppo del settore. Ciò in considerazione del fatto, sottolinea lo stesso Ente, che l'attività elicotteristica va affermandosi sempre più nel trasporto commerciale passeggeri. Il Regolamento specifica per inciso che tra i presupposti per l'istituzione di un eliporto vi è la sussistenza di un pubblico interesse su cui convergono gli Enti territoriali competenti. Tale affermazione è in linea con le direttive internazionali e statunitensi in precedenza presentate. L'interesse pubblico posto a base della definizione di eliporto consente, in particolare, di applicare le previsioni codicistiche in materia di vincoli alla proprietà privata, necessari al fine di garantire la sicurezza delle operazioni nel tempo, preservando le infrastrutture eliportuali da nuove costruzioni che possono incidere sulla sicurezza della stessa. Ai fini dell'applicabilità delle indicazioni contenute all'interno del Regolamento, sono individuate, in termini di numero di movimenti, due diverse soglie che tengono conto della specificità del contesto operativo.

In particolare, per le infrastrutture a servizio delle strutture sanitarie, si è ritenuta appropriata la soglia minima di una media di due movimenti al giorno nel semestre di riferimento poiché indicativa di un congruo livello di continuità delle operazioni; in tale situazione appare necessaria, per le infrastrutture che presentano carattere di stabilità nel tempo ed in ragione del carattere pubblico del servizio medico di emergenza, la protezione delle aree intorno all'infrastruttura mediante l'imposizione di vincoli.

Per le infrastrutture interessate con continuità da operazioni di trasporto commerciale è invece stata individuata, anche sulla base del confronto con altre realtà internazionali, una

soglia minima che tenga in debito conto le distribuzioni di traffico nel tempo ritenute più critiche, ovvero quelle caratterizzate da una media giornaliera di movimenti commerciali uguale o superiore a sei nel semestre di riferimento.

Il Regolamento prescrive i requisiti, in materia di sicurezza delle infrastrutture e delle operazioni di volo, per l'emissione e il mantenimento della certificazione che è articolata su due documenti:

- uno relativo alle infrastrutture ed impianti;
- uno relativo ai requisiti di esercizio per i soli eliporti ove si svolgono con regolarità operazioni di trasporto commerciale di adeguata intensità con offerta di servizi a terzi.

L'osservanza dei requisiti elencati nel documento è condizione necessaria per l'ottenimento della certificazione eliportuale. La valutazione degli elementi necessari al rilascio o al mantenimento del certificato è fondata sul principio della flessibilità in base al quale, al fine del raggiungimento e del mantenimento di un soddisfacente livello di sicurezza, ENAC ha la facoltà di richiedere sia l'applicazione di requisiti aggiuntivi sia di accettare misure alternative di rispondenza. Per l'applicabilità delle norme è previsto un periodo transitorio che consente, nel caso di infrastrutture già esistenti alla data di entrata in vigore del Regolamento, l'adeguamento ai nuovi requisiti entro il 31 dicembre 2014. Il Regolamento, secondo quanto stabilito dal comma 3 dell'art. 690 del Codice della Navigazione, determina le condizioni di applicabilità, attuazione e regolarità dei servizi di soccorso e lotta antincendio, in ragione dell'esposizione al rischio aeronautico. Il Ministero dell'Interno - Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso pubblico e della Difesa Civile, con propria regolamentazione, individua i requisiti tecnici dei predetti servizi.

Il documento è articolato in 10 capitoli, dei quali i primi 5 appartengono alla Sezione "Progettazione e Costruzione" e gli ultimi 5 alla Sezione "Operazioni e Gestione". La prima Sezione include le indicazioni relative al certificato di eliporto (requisiti per il rilascio, titolarità, validità, eventuali variazioni), i dati dell'eliporto, le caratteristiche fisiche, gli ostacoli e le limitazioni ed infine gli aiuti visivi. La seconda Sezione tratta la certificazione del gestore (organizzazione del gestore, Manuale dell'eliporto), gli aspetti legati alla manutenzione ed ai servizi dell'eliporto, le informazioni aeronautiche, la prevenzione e gestione dei rischi ed infine l'idoneità alle operazioni. Va rilevato per inciso che il Regolamento presenta alcune lacune concettuali dovute talvolta all'erronea o incompleta traduzione dell'Annesso 14 Volume II. Infine, sul tema della gestione ed autorizzazione delle elisuperfici, il 30 ottobre 2013 è stata emanata la circolare APT-36.

2.3 La normativa sulle operazioni di volo con elicotteri

2.3.1 Normativa internazionale e comunitaria

I documenti di riferimento sulle operazioni di volo con elicotteri sono redatti dall'ICAO. In particolare, l'Annesso 6 Parte III “*Operation of Aircraft – International Operations/Helicopters*” è interamente incentrata sulle operazioni con elicotteri per scopi di aviazione generale o per trasporto aereo commerciale. Al suo interno è possibile trovare tutte le indicazioni sulle limitazioni e sulle performance delle operazioni, le condizioni operative minime, la strumentazione, l'equipaggiamento, i documenti di bordo, le comunicazioni aeronautiche, la navigazione, l'equipaggio e la manutenzione dei velivoli. Di particolare importanza in materia è, inoltre, la sezione 8 del primo volume del Doc 8168 OPS 611 “*Aircraft Operations*”, redatto dalla stessa ICAO, nonché la parte IV del secondo volume dello stesso interamente dedicata alle procedure di avvicinamento *Point-in-Space* (PinS) tramite navigazione d'area (RNAV), per i modelli ad ala rotante dotati di ricevitori *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Il documento fondamentale per i servizi commerciali mediante elicotteri è rilasciato dalle ex *Joint Aviation Authorities* (oggi EASA) ed è la JAR OPS 3. Essa prescrive i requisiti applicabili alle operazioni di elicotteri civili per servizi commerciali di trasporto passeggeri e non è applicabile agli elicotteri impiegati in servizi militari, di polizia, di elisoccorso o in generale di servizi di pubblica utilità.

Nella JAR OPS 3 sono individuate inoltre tre categorie di elicotteri identificate in base alle condizioni meteo, alla zona in cui vengono eseguite le operazioni, al numero di passeggeri trasportati ed alla certificazione dell'elicottero, in cui si può operare. Tali categorie coincidono con le *classi di prestazione*, di cui si parlerà più avanti.

Lo scorso 5 ottobre 2012 la Commissione Europea ha emanato il Regolamento 965/2012 che stabilisce i requisiti tecnici e le procedure amministrative per quanto riguarda le operazioni di volo, le norme dettagliate relative alle operazioni commerciali di trasporto aereo eseguite con elicotteri, tra cui le ispezioni a terra di operatori che si trovano sotto la sorveglianza in materia di sicurezza di un altro Stato membro, quando atterrano in aeroporti situati nel territorio soggetto alle disposizioni del trattato. Il Regolamento stabilisce inoltre norme dettagliate sulle condizioni concernenti il rilascio, il mantenimento, la modifica, le limitazioni, la sospensione o la revoca di certificati di operatori di elicotteri.

2.4 La normativa sulla certificazione degli elicotteri

In Europa, il compito della certificazione degli elicotteri è demandato all'EASA. In particolare, le due *Certification Specifications (CS) 27 e 29* stabiliscono i requisiti necessari per ottenere la certificazione rispettivamente degli *Small Rotorcraft* (ovvero quelli il cui peso massimo è uguale o inferiore a 3.175 kg ed il numero di posti per passeggeri è pari o inferiore a 9) e dei *Large Rotorcraft*. Per questi ultimi la CS 29 propone una classificazione dei velivoli in:

- Categoria A: è pertinente a tutti quegli elicotteri plurimotori progettati con caratteristiche d'isolamento dei motori e dei sistemi come specificato nelle EASA CS 27/29, o norme equivalenti accettabili da parte dell'autorità aeronautiche, e con dati di prestazioni nel Manuale di Volo, basati su un concetto di avaria al motore critico e che assicurano l'identificazione di un'adeguata area in superficie ed un'adeguata capacità di prestazione per la continuazione del volo in sicurezza nel caso di avaria al motore.
- Categoria B: è pertinente a quegli elicotteri monomotori o plurimotori che non rispondono pienamente agli standard della Categoria A. Gli elicotteri in Categoria B non garantiscono alcuna capacità di rimanere in volo nel caso di avaria al motore e di conseguenza, si presuppone per questi un atterraggio forzato.

Sulla base di queste due categorie “prestazionali”, la CS 29 effettua una distinzione nei requisiti per la certificazione che si può riassumere nella Tabella 2.1.

Anche in questo settore, in ambito nazionale, l'Ente incaricato della certificazione aeronautica degli elicotteri è l'ENAC. Quest'ultimo ha emanato nel 1994 il Regolamento Tecnico contenente le indicazioni per la certificazione di tutte le tipologie di aeromobili, tra i quali rientrano anche gli elicotteri sotto la categoria “aerogiri”, che nel linguaggio comune vengono ormai confusi con i “velivoli” (questo termine, seppur erroneo nel caso degli elicotteri, verrà utilizzato nel seguito della trattazione).

Tabella 2.1 – Requisiti di certificazione dei *Large Rotorcraft* prescritti dalla CS 29

		Peso massimo dell'elicottero	
		≤ 9.072 kg	> 9.072 kg
Numero di posti per passeggeri	≤ 9	Categoria B	Categoria B a condizione che vengano rispettati i requisiti della Categoria A inclusi nelle sottoparti C, D, E, e F
	≥ 10	Categoria B a condizione che vengano rispettati i requisiti della Categoria A inclusi nei paragrafi CS 29.67(a)(2), 29.87, 29.1517, e nelle sottoparti C, D, E, e F	Categoria A

In Italia, inoltre, la certificazione di sicurezza dei velivoli è imposta dal Codice di Navigazione, che richiama il Regolamento Tecnico dell'ENAC, in cui sono incorporate, come parte integrante, le EASA CS 27 e 29. A questo punto è bene definire le *Classi di Prestazioni* degli elicotteri precedentemente accennate, indispensabili per comprendere meglio i concetti che saranno esposti nel seguito della trattazione:

- Operazioni con *Prestazione di Classe 1*: operazioni di volo in cui, in caso di avaria al motore critico, l'elicottero è in grado di atterrare entro un'area di sicurezza prestabilita (la cui lunghezza è identificata come *Take-off Distance Available for Helicopters* - TODAH), se questa avaria avviene prima che venga raggiunto il punto di decisione al decollo (*Take-off Decision Point* – TDP) o dopo aver superato il punto di decisione all'atterraggio (*Landing Decision Point* – LDP), o continuare il volo in sicurezza verso un'ideale area di atterraggio;
- Operazioni con *Prestazione di Classe 2*: operazioni di volo in cui, in caso di avaria al motore critico, l'elicottero è in grado di offrire prestazioni tali da consentire di poter continuare il volo in sicurezza, salvo i casi in cui l'avaria dovesse accadere inizialmente durante la manovra di decollo e prima del TDP, o durante l'ultima fase della manovra di atterraggio dopo il LDP. In entrambi questi casi può rendersi necessario un atterraggio forzato;
- Operazioni con *Prestazione di Classe 3*: operazioni di volo in cui, in caso di avaria al motore critico in qualsiasi fase del volo può essere richiesto un atterraggio di emergenza per un elicottero plurimotore, o deve essere richiesto per un elicottero monomotore.

In ottemperanza alle prescrizioni dell'Annesso 6, gli elicotteri che operano nelle classi 1 e 2 dovrebbero essere certificati in Categoria A, mentre gli elicotteri che operano in classe 3 possono essere certificati o in Categoria A o in Categoria B.

2.5 La certificazione acustica degli elicotteri

L'articolo 6 del Regolamento Europeo (EC) 216/2008 emendato dal Regolamento della Commissione Europea 690/2009 definisce i requisiti essenziali per la protezione ambientale e stabilisce che tutti i prodotti, i componenti e gli strumenti dei velivoli siano realizzati in ottemperanza alle prescrizioni dell'Annesso 16 ICAO. La regolamentazione europea prevede la presenza di un certificato di omologazione acustica per i velivoli (TCDSN - *Type-Certificate Data Sheet for Noise*) il quale verifica la conformità di una tipologia di veli-

volo ai requisiti applicabili per la certificazione acustica e la registrazione dei livelli di rumore stabiliti dall'EASA. L'ICAO definisce i criteri per la certificazione acustica degli elicotteri al capitolo 8 ed al capitolo 11 dell'Annesso 16. In particolare, nel capitolo 8 vengono stabiliti i requisiti di misurazione e le procedure di certificazione per gli elicotteri con peso massimo certificato al decollo (*Maximum Certificated Take-Off Mass – MCTOM*) superiore a 3.175 kg, mentre nel capitolo 11 vengono trattati gli elicotteri aventi un MCTOM non superiore a 3.175 kg. Gli elicotteri “afferenti” al suddetto capitolo 8 vengono certificati con riferimento a 3 punti di misura ben distinti (*Take-off, Overflight e Approach*) e sulla base della metrica EPNdB (*Effective Perceived Noise* in decibel) mentre quelli trattati nel capitolo 11 vengono certificati con riferimento ad un unico punto di misurazione (*Overflight*) sulla base della metrica SEL (*Single Event Noise Level*). Le procedure e le manovre da seguire per ottenere una corretta certificazione così come i sentieri di decollo, atterraggio e volo livellato, il posizionamento esatto dei punti di misurazione, le condizioni atmosferiche di riferimento, le velocità e le quote di riferimento del velivolo da certificare sono specificate in dettaglio nei due capitoli dell'Annesso 16. Nel capitolo 8 sono definiti i limiti dei livelli acustici per le manovre di *Take-off, Overflight e Approach* in relazione alla data di presentazione della domanda di certificazione o della procedura di attestazione da parte dell'autorità di certificazione. La Tabella 2.2 illustra tali prescrizioni.

Tabella 2.2 – Limiti di rumore secondo il Chapter 8 dell'Annesso 16 ICAO

	MTOM da 0 a 800 kg	MTOM da 800 a 80.000 kg	MTOM oltre 80.000 kg
Take-off noise level (EPNdB)	89	90,03+9,97 log M	109
Approach noise level (EPNdB)	90	91,03+9,97 log M	110
Overflight noise level (EPNdB)	88	89,03+9,97 log M	108
I valori sopra riportati valgono per un elicottero la cui domanda di certificazione (o procedura equivalente di certificazione effettuata) è stata presentata a partire dal 1 gennaio 1985 oppure per una versione derivata dell'elicottero la cui domanda di cambiamento di certificazione (o procedura equivalente di certificazione effettuata) è stata presentata a partire dal 17 novembre 1988			
	MTOM da 0 a 800 kg	MTOM da 800 a 80.000 kg	MTOM oltre 80.000 kg
Take-off noise level (EPNdB)	86	87,03+9,97 log M	106
Approach noise level (EPNdB)	89	90,03+9,97 log M	109
Overflight noise level (EPNdB)	84	85,03+9,97 log M	104
I valori sopra riportati valgono per un elicottero la cui domanda di certificazione (o procedura equivalente di certificazione effettuata) è stata presentata a partire dal 21 marzo 2002			

La FAA ha recentemente pubblicato una nuova edizione della circolare AC 36-1H “*Noise Levels for U.S. Certificated and Foreign Aircraft*”, il cui scopo è quello di fornire dati sui livelli di rumorosità degli aeromobili e in particolare, anche degli elicotteri certificati secondo le normative del 14 CFR Part 36 (per quanto riguarda i velivoli statunitensi) e secondo l'Annesso 16 ICAO (nel caso dei velivoli non statunitensi).

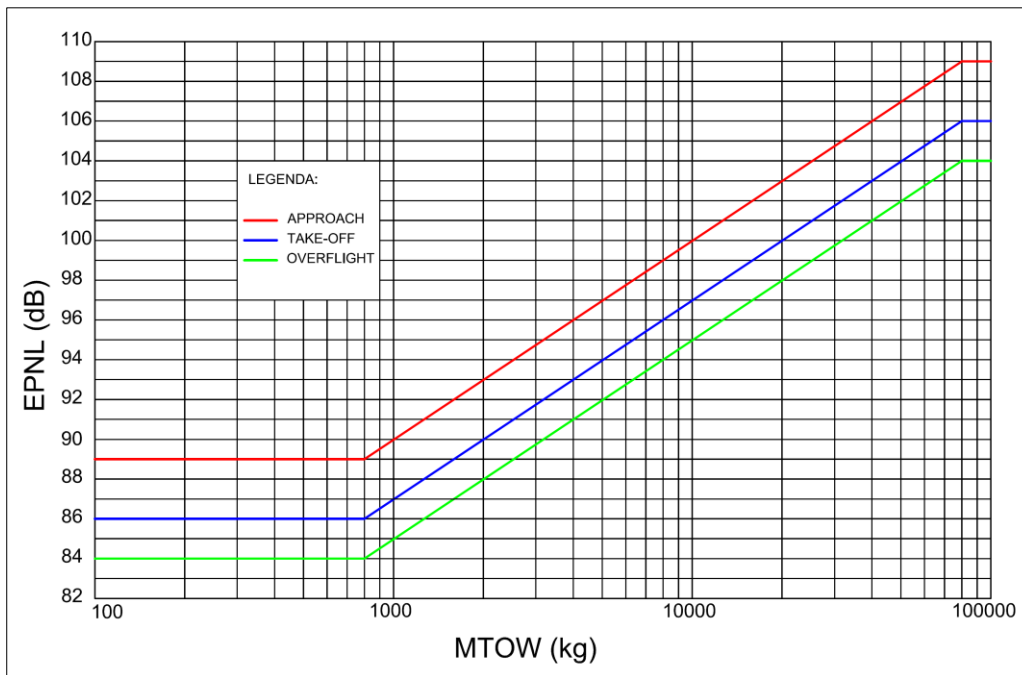


Figura 2.1 – Limiti acustici per elicotteri certificati secondo l’Appendice H del 14 CFR Part 36 (elaborazione su Fonte: FAA AC 36-1H)

Così come nell’Annesso 16, anche nella circolare FAA è presente la suddivisione degli elicotteri in “leggeri” e “pesanti”. I primi sono certificati secondo le prescrizioni dell’Appendice J del 14 CFR Part 36 mentre per i secondi si fa riferimento all’Appendice H dello stesso documento.

La Figura 2.1 mostra i limiti acustici per le tre fasi di volo nel caso di elicotteri certificati secondo l’Appendice H (corrispondente al Capitolo 8 dell’Annesso 16 ICAO) mentre la Figura 2.2 fa riferimento ai limiti imposti dall’Appendice J del 14 CFR Part 36 (corrispondente al Capitolo 11 dell’Annesso 16 ICAO).

La Tabella 2.3 mostra i limiti di rumorosità prescritti nel Capitolo 11 dell’Annesso 16 ICAO. Dall’osservazione delle Tabelle si può notare come i limiti acustici siano meno stringenti nel caso delle manovre di avvicinamento e più stringenti per le operazioni di sorvolo.

La Figura 2.3 mostra i livelli misurati ed i limiti di rumorosità per quattro tipologie di elicotteri certificati secondo il capitolo 8 dell’Annesso 16. Si può notare come il margine tra i due valori sia molto ampio nel caso di elicotteri di produzione meno recente.

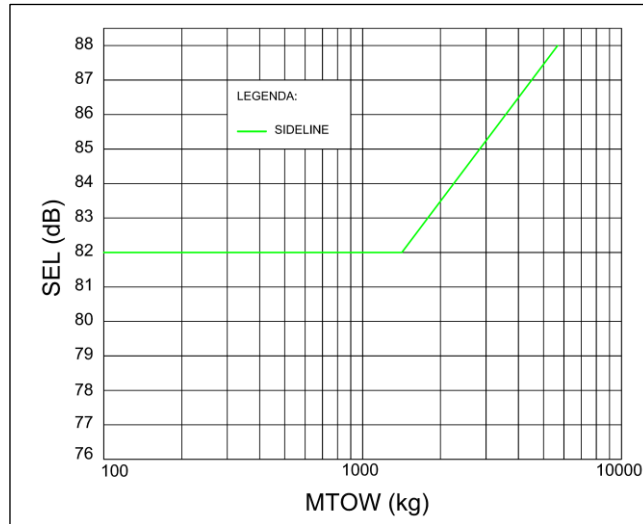


Figura 2.2– Limiti acustici per elicotteri certificati secondo l'Appendice J del 14 CFR Part 36 (elaborazione su Fonte: FAA AC 36-1H)

Tabella 2.3 – Limiti di rumore secondo il Chapter 11 dell'Annesso 16 ICAO

MTOM (kg)	Da 0 a 788	Oltre 788
Overflight noise level (SEL)	82	Cresce linearmente con il logaritmo della massa dell'elicottero con un tasso di 3 dB al raddoppio della massa
I valori sopra riportati valgono per un elicottero la cui domanda di certificazione (o procedura equivalente di certificazione effettuata) è stata presentata a partire dal 1 gennaio 1985 oppure per una versione derivata dell'elicottero la cui domanda di cambiamento di certificazione (o procedura equivalente di certificazione effettuata) è stata presentata a partire dal 17 novembre 1988		
MTOM (kg)	Da 0 a 1.417	Oltre 1.417
Overflight noise level (SEL)	82	Cresce linearmente con il logaritmo della massa dell'elicottero con un tasso di 3 dB al raddoppio della massa
I valori sopra riportati valgono per un elicottero la cui domanda di certificazione (o procedura equivalente di certificazione effettuata) è stata presentata a partire dal 21 marzo 2002		

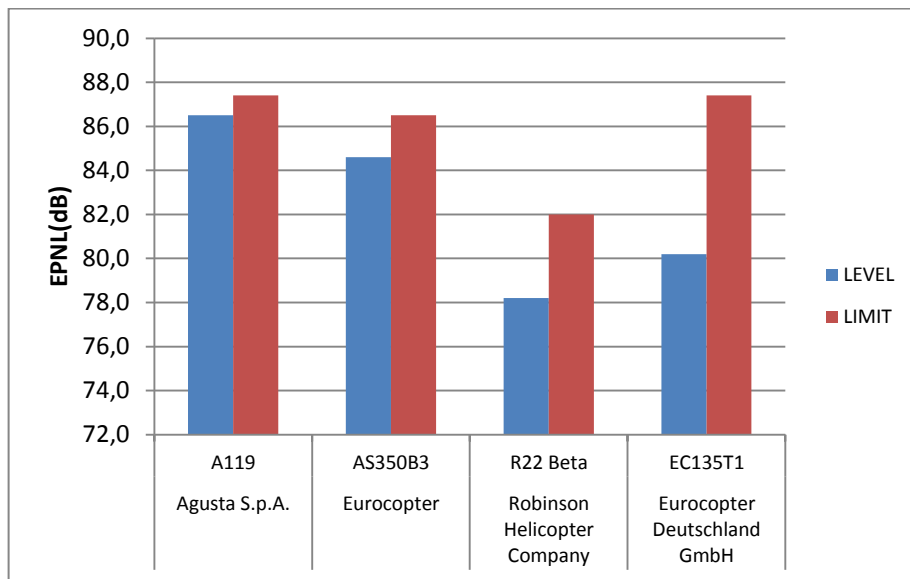


Figura 2.3 – Limiti acustici per elicotteri certificati secondo il Capitolo 8 dell'Annesso 16 ICAO

CAPITOLO 3

Analisi comparativa delle differenti fonti normative in materia di progettazione eliportuale per servizi di trasporto aereo civile

Premessa

Questo capitolo vuole focalizzare l'attenzione sulle prescrizioni tecniche in materia di pianificazione e progettazione delle infrastrutture eliportuali adibite alla movimentazione di elicotteri per servizi di trasporto. L'obiettivo è quello dell'analisi critica delle fonti normative internazionali, comunitarie e nazionali presentate nei capitoli precedenti al fine di mettere in luce eventuali incongruenze, imprecisioni e asimmetrie tra i vari documenti che il pianificatore ed il progettista hanno a disposizione come riferimento. L'analisi non vuole essere una mera critica dei testi redatti dai vari enti e dalle associazioni coinvolte in materia bensì vuole rilevare l'importanza, attraverso un esame propositivo, di standardizzare ed unificare i riferimenti progettuali nell'ottica di un innalzamento generale del livello di *safety* del trasporto aereo dei passeggeri. Tale obiettivo è oggi quanto mai fondamentale specialmente per un campo, quello del trasporto elicotteristico, ancora poco "investigato".

3.1 Infrastrutture di decollo ed atterraggio per gli elicotteri

L'air-side eliportuale, analogamente al caso degli aeroporti, comprende le infrastrutture per il decollo, l'atterraggio e la movimentazione al suolo degli elicotteri nonché il piazzale per lo stazionamento degli stessi. Il layout di base di un eliporto è piuttosto semplice. Un eliporto consta di una *Touchdown and Lift-Off Area* - TLOF contenuta generalmente all'interno di una *Final Approach and Take-Off Area* - FATO.

La prima, TLOF, è un'area di adeguata capacità portante sulla quale un elicottero può toccare terra o sollevarsi dal suolo.

La seconda, FATO, è invece definita come un'area sulla quale viene completata la fase finale della manovra di avvicinamento fino al volo stazionario o all'atterraggio e dalla quale viene iniziata la manovra di decollo.

Attorno alla FATO è prevista una *safety area* libera da ostacoli, salvo quelli necessari alla navigazione aerea, e intesa a ridurre i rischi di danni a un elicottero che dovesse accidentalmente scostarsi dalla FATO. Sulla forma, sulle dimensioni e sulla posizione della FATO

e della TLOF gli enti si pronunciano in maniera differente. Analizziamo nel dettaglio dapprima le prescrizioni contenute all'interno della circolare FAA AC-2C e in seguito, le indicazioni dell'Annesso 14 Volume II ICAO.

Una FATO di forma rettangolare può fornire un ulteriore margine di sicurezza ed una maggiore flessibilità operativa rispetto ad una quadrata in quanto fornisce al pilota una migliore visuale della direzione del sentiero di atterraggio. Una FATO rettangolare, secondo quanto suggerito dalla AC-2C, può contenere una postazione di atterraggio localizzata al centro e due postazioni di decollo alle estremità. Inoltre sempre a detta della stessa FAA, un eliporto per trasporto pubblico deve avere almeno una FATO e questa deve contenere una TLOF all'interno dei suoi bordi sulla quale gli elicotteri in arrivo terminano il loro avvicinamento, e dalla quale gli elicotteri si dipartono. La larghezza minima di una FATO è fissata dalla FAA nella misura di 2 volte il diametro del rotore principale (RD) dell'elicottero "di progetto" ossia quello che più frequentemente utilizzerà l'eliporto, e comunque non minore di 30,5 m. La lunghezza minima di una FATO è invece fissata pari a 2 volte il parametro RD dell'elicottero di progetto e comunque non minore di 61 m. Ad elevazioni ben al di sopra del livello del mare, è richiesta una FATO più lunga al fine di incrementare il margine di sicurezza e garantire una maggiore flessibilità operativa. La lunghezza addizionale della FATO in elevazione è diagrammata nella Figura 3.1.

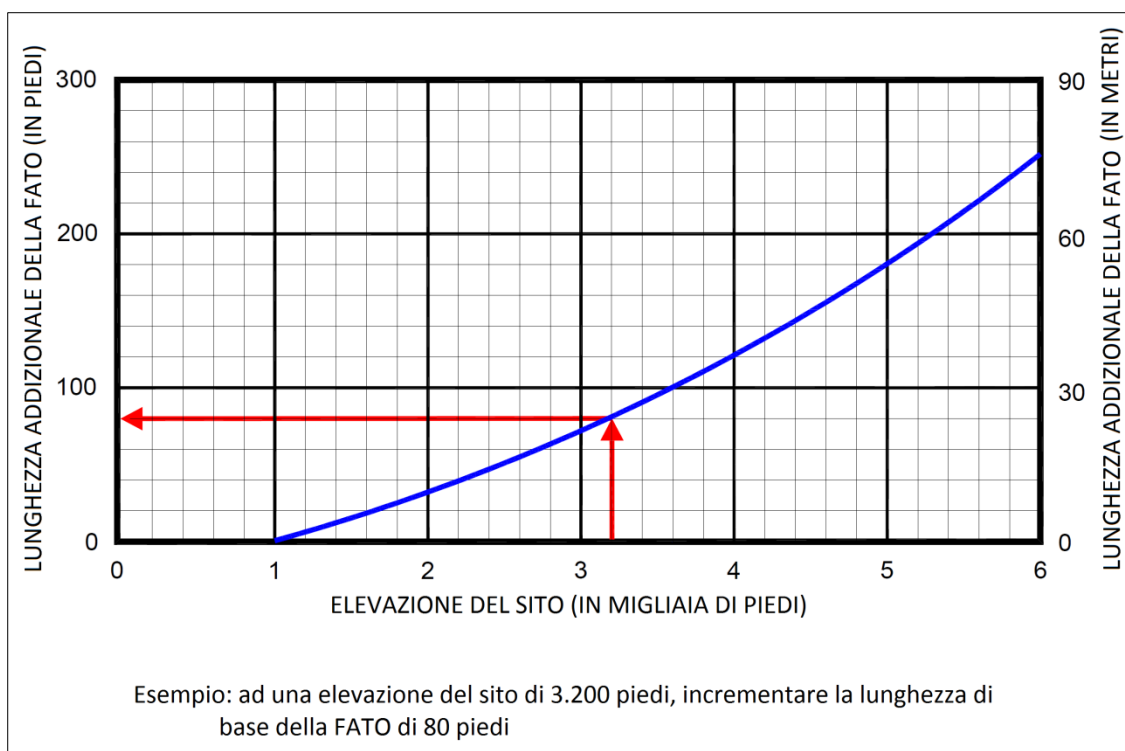


Figura 3.1 – Lunghezza addizionale da assegnare alla FATO in funzione dell'elevazione (elaborazione su Fonte: FAA AC150/5390-2C)

Secondo quanto scritto nell'Annesso 14 ICAO, la larghezza minima della FATO dovrebbe essere pari a quella indicata nel Manuale di volo dell'elicottero (HFM – *Helicopter Flight Manual*) e, in assenza di tale indicazione, è da realizzarsi in misura pari almeno alla dimensione massima fuori tutto (indicata con *Overall Length* – OL o anche con D) del più grande elicottero che utilizzerà l'infrastruttura. Tale prescrizione è fornita per gli elicotteri operanti in classe 1. Dunque l'ICAO, a differenza della FAA, prevede una differenziazione nelle dimensioni delle infrastrutture di volo in base alla classe di prestazioni. Va specificato, a questo punto della trattazione, che gli elicotteri utilizzati per servizi di trasporto passeggeri devono obbligatoriamente operare in classe 1 al fine di fornire il massimo livello di sicurezza possibile durante le operazioni.

Passiamo adesso alla TLOF. La TLOF di un eliporto per trasporto pubblico è di norma localizzata a livello del suolo, ma può essere disposta su un molo o, se progettata attentamente, sul tetto di un edificio.

La FAA prescrive una TLOF centrata sulla LBA (*Load Bearing Area* – Superficie Portante) e sull'asse maggiore della FATO. Lo stesso Ente consiglia di adottare una TLOF di forma quadrata o rettangolare la cui dimensione minima coincida con il diametro del rotore dell'elicottero di progetto, ma sempre maggiore di 15,2 m. Di contro, l'ICAO afferma che la TLOF può essere di qualsiasi forma purché sia realizzata in modo tale da contenere una circonferenza di diametro pari almeno a $0,83D$ dove D è sempre riferito al più grande elicottero che utilizzerà l'infrastruttura. Nell'Annesso è inoltre scritto che la TLOF può non essere localizzata all'interno di una FATO e può coincidere con una piazzola per lo stazionamento degli elicotteri (*helicopter stand*). Questa nuova indicazione è stata elaborata dall'ICAO in seguito alla valutazione positiva dell'efficacia operativa dell'eliporto di Monaco, nel quale i velivoli atterrano e decollano direttamente nelle piazzole, con opportune restrizioni di cui si parlerà nel seguito, minimizzando così i tempi di spostamento sulla superficie dell'eliporto e dunque ottimizzando gli spazi necessari alla movimentazione. L'Annesso lascia dunque la possibilità di creare una TLOF all'esterno della FATO, ma non si pronuncia sulle caratteristiche della *safety area* che dovrebbe circondare la TLOF in questa situazione. Per tale motivo è buona norma utilizzare le stesse prescrizioni per le dimensioni della *safety area* localizzata tutta intorno alla FATO.

Se è prevista una TLOF “allungata” allora la FAA prescrive una FATO di forma rettangolare. La distanza minima tra il perimetro della TLOF e quello della FATO è fissata dalla FAA in $0,75-0,5 RD$, ove RD è riferito all'elicottero di progetto. Si noti come la FAA faccia riferimento all'elicottero di progetto mentre l'ICAO, alla “famiglia” di elicotteri di

maggiori dimensioni che utilizzeranno l'infrastruttura. Le dimensioni fornite dall'ICAO devono considerarsi come le minime indispensabili e pertanto molti autori raccomandano di incrementare i parametri di progetto almeno del 10% e, per quanto possibile, tenere in considerazione l'evoluzione tecnologica dei mezzi ed i relativi incrementi dimensionali. Si fa infatti riferimento, per le dimensioni di TLOF e FATO, ad un'area all'interno della quale è possibile inscrivere una circonferenza di dato diametro, qualsiasi forma si adotti (Figura 3.2).

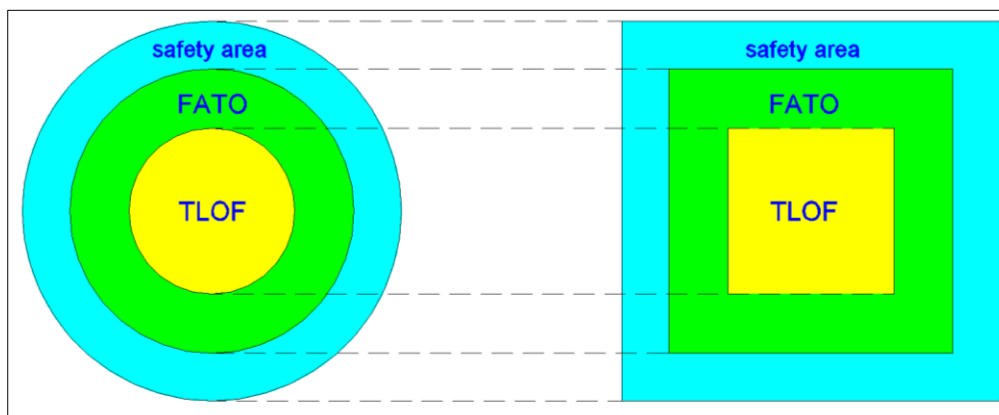


Figura 3.2 – Dimensioni minime definite nell'Annesso 14 ICAO

Secondo FAA l'intera FATO deve essere in grado di sopportare i carichi dinamici dell'elicottero di progetto e, se non pavimentata, la sua superficie deve essere trattata al fine di prevenire l'erosione e il sollevamento di detriti causato dal flusso vorticoso diretto verso il basso generato del rotore (*downwash*). Inoltre la porzione della FATO che sporge dalla TLOF deve essere contigua con questa e i margini di giuntura tra le due superfici devono trovarsi alla stessa quota. In riguardo a questa peculiarità, ICAO differenzia il caso di TLOF collocate all'interno di una FATO dal caso in cui la TLOF coincide con uno stand. Nel primo caso, è prescritta una capacità di carico dinamica per la TLOF mentre nel secondo caso, questa può realizzarsi in modo tale che abbia capacità statica, ma sia in grado di sopportare il carico degli elicotteri che vi transiteranno. ICAO prescrive ancora che quando la TLOF si trova all'interno di una FATO, il centro della TLOF deve trovarsi a non meno di $0,5D$ dal bordo della FATO.

Per quanto riguarda la *safety area*, secondo la FAA questa deve estendersi al di fuori della FATO lungo tutti i suoi lati per una distanza pari a 9 m. Gli standard di progettazione della *safety area* contemplati nella AC-2C si basano sul presupposto che sia la TLOF che la FATO siano interdette ad ogni altro velivolo, se un elicottero o qualsiasi altro oggetto mobile si trova all'interno della FATO o della *safety area* stessa. L'area di sicurezza deve es-

sere libera da qualsiasi oggetto ad eccezione di quelli piccoli, frangibili, che proprio per la loro funzione, sono collocati al suo interno. Questi oggetti non devono comunque essere più alti di 20 cm al di sopra della quota del perimetro della FATO e non devono forare le superfici di avvicinamento/decollo e di transizione. Non è richiesto che l'area di sicurezza abbia necessariamente capacità portante e per tale motivo questa può estendersi anche sull'acqua. Ove possibile, le normative suggeriscono di realizzare la *safety area* in modo tale che la porzione di questa che si estende sulla FATO sia contigua con essa con i margini delle due superfici alla stessa quota. Questo per evitare il rischio di intralcio con le ruote del carrello o con i pattini degli elicotteri. Così come le altre superfici, l'area di sicurezza deve essere trattata al fine di prevenire l'erosione e il sollevamento di detriti per effetto del *downwash* del rotore.

L'ICAO si pronuncia ancora una volta in modo differente sulla *safety area*. Per prima cosa prescrive che tale area può anche non essere solida ossia può avere portanza nulla. ICAO prescrive ancora che un'area di sicurezza, che circonda una FATO intesa ad essere utilizzata in condizioni VMC (in classe di prestazioni 1), deve estendersi al di fuori di essa per una lunghezza di almeno 3 m o 0,5D (quale delle due è maggiore) del più grande elicottero che l'eliporto è inteso a servire, ed inoltre:

- tutti i fianchi esterni della *safety area* dovrebbero essere larghi almeno 2D se la FATO è di forma quadrata;
- il diametro del bordo esterno della *safety area* dovrebbe essere pari ad almeno 2D se la FATO è di forma circolare.

In condizioni IMC, invece, la *safety area* deve estendersi al di fuori della FATO lateralmente per una distanza di almeno 45 m per lato dall'asse centrale e longitudinalmente per una lunghezza di almeno 60 m oltre il margine della FATO. Gli oggetti frangibili che per la loro funzione, devono essere collocati all'interno dell'area di sicurezza non devono eccedere i 25 cm di altezza se collocati lungo il bordo della FATO e non devono forare un piano immaginario che si diparte dal margine della FATO ad una quota di 25 cm dal margine stesso e si estende al di fuori di esso verso l'alto con una pendenza del 5%.

Tabella 3.1 – Comparazione tra le norme FAA ed ICAO su FATO, TLOF e *safety area* di eliporti per trasporto passeggeri localizzati a livello del suolo

		FAA AC 150/5390 – 2C	ICAO ANNESSO 14 Vol. II
FATO	Larghezza minima	min (2RD; 30,5m)	Vedere HFM ma almeno pari a D
	Lunghezza minima	min (2RD; 61m)	Vedere HFM ma almeno pari a D
	Pendenza	0,5% - 2% (FATO portante) > 5% (FATO non portante)	< 3%
TLOF	Larghezza minima	15,2 m	0,83 D
	Lunghezza minima	15,2 m	0,83 D
	Pendenza	0,5% - 1% (trasversale) 0,5% - 1,5% (longitudinale)	< 2%
SAFETY AREA	Larghezza minima	Larghezza FATO + 18 m (9 m per lato)	min (3m; 0,5D) da tutti i bordi della FATO per VMC 45 m dall'asse della FATO per IMC
	Lunghezza minima	Lunghezza FATO + 18 m (9 m per lato)	min (3m; 0,5D) da tutti i bordi della FATO per VMC 60 m oltre il margine della FATO per IMC
	Pendenza	2:1 verso il basso	< 4%

Diverso è il caso degli eliporti per trasporto costituiti su piattaforme in elevazione o localizzate sui tetti degli edifici. In questo caso la FAA afferma che TLOF in elevazione e qualsiasi struttura di supporto della TLOF deve essere in grado di sopportare i carichi dinamici dell'elicottero di progetto. Inoltre queste dovrebbero essere costruite in metallo, calcestruzzo, o altri materiali che rispettino le normative locali sulle costruzioni. La pavimentazione deve inoltre avere una finitura rigata o comunque preparata per assicurare una buona resistenza al carico trasmesso dai pattini degli elicotteri e antiscivolo per i pedoni.

La circolare AC-2C precisa inoltre che le FATO in elevazione e qualsiasi struttura di supporto della FATO deve essere in grado di sopportare i carichi dinamici dell'elicottero di progetto. La FATO deve essere elevata al di sopra della quota di qualsiasi oggetto presente all'interno dell'area di sicurezza che non possa essere rimosso, ad eccezione degli oggetti frangibili che, proprio per la loro funzione, devono essere posizionati all'interno della *safety area*. Le piattaforme poste ad una elevazione maggiore di 1,2 m rispetto al contorno necessitano di dispositivi di ritenuta per evitare la caduta di oggetti e persone. La FAA raccomanda tale protezione per tutte le piattaforme elevate per più di 76 cm. Ad ogni modo, è bene non utilizzare parapetti o barriere se questi possono costituire un rischio per la sicurezza delle operazioni degli elicotteri. Alternativamente, si può installare una rete di protezione larga non meno di 1,5 m, secondo le prescrizioni della regolamentazione locale. La rete di sicurezza dovrebbe avere una capacità di carico di 244 kg/m² e non deve sporgere al

di sopra del livello della FATO. Sia il margine interno che quello esterno della rete dovrebbero essere ancorati a strutture di sostegno sufficientemente rigide. Inoltre, le reti dovrebbero essere costruite in materiali resistenti alle sollecitazioni provocate dagli effetti dell'ambiente circostante.

L'ICAO afferma che per gli eliporti in elevazione o posti sul tetto degli edifici, le caratteristiche di progettazione devono tenere conto dei carichi addizionali risultanti dalla presenza del personale, della neve, delle merci e degli equipaggiamenti per il *refueling* e per la prevenzione del rischio incendio. Inoltre si presume che la FATO e la TLOF coincidano. Le dimensioni sono le stesse indicate per gli eliporti a livello del suolo, con la medesima differenziazione in funzione della classe di prestazioni degli elicotteri. La *safety area*, in questo caso, deve estendersi al di fuori del perimetro della FATO per una distanza di almeno 3 m o 0,25 volte OL.

Particolare attenzione è posta dalle due normative sulle pendenze da assegnare alle superfici pavimentate e non pavimentate. La circolare AC-2C consiglia di realizzare la TLOF di un eliporto per trasporto con una pendenza trasversale compresa tra 0,5% e 1% e longitudinale tra 0,5% e 1,5%, al fine di assicurare il corretto smaltimento delle acque superficiali. Per la TLOF, l'Annesso 14 è meno restrittivo e consente pendenze maggiori purché queste non superino il 2% in ogni direzione. Per quanto riguarda le pendenze della FATO, la FAA distingue il caso di superficie portante e non portante. Nella prima situazione, la pendenza è compresa tra 0,5% e 5% con un massimo del 2% in corrispondenza della parte ove si prevede che avvenga il contatto al suolo dell'elicottero. Sono ammesse anche banchine per il drenaggio rapido della TLOF, con una pendenza compresa tra il 3% e il 5%. Nel secondo caso (FATO non portante) non sono prescritti requisiti specifici per la pendenza della FATO, ma la FAA consiglia comunque di realizzare quest'ultima con un'inclinazione del 5% o più. Secondo ICAO invece, la pendenza complessiva della FATO non dovrebbe superare il 3% in ogni direzione, e nessuna porzione della stessa dovrebbe eccedere il 5% nel caso di eliporti in cui sono ammesse operazioni in classe 1 ed il 7% per le rimanenti classi di prestazioni.

Infine, per la *safety area*, la FAA consiglia di adottare una pendenza verso il basso fino a 2:1 assicurandosi che la superficie dell'area di sicurezza non sia più alta del margine della FATO, mentre l'ICAO indica che la pendenza della *safety area* (pavimentata) non debba eccedere il 4% verso l'alto all'esterno del bordo della FATO. Le caratteristiche di FATO, TLOF e *safety area* secondo ICAO e FAA sono riassunte nella Tabella 3.1. E' da rilevare la definizione, all'interno dei documenti redatti dall'ICAO, di due superfici portanti: la

prima, definita come “*dynamic load bearing surface*”, è una superficie in grado di sopportare l’impatto del carico che si genera durante gli atterraggi forzati (di emergenza) mentre la seconda, definita come “*static load bearing surface*”, è una superficie in grado di sopportare solamente il carico statico degli elicotteri.

3.2 Distanze dichiarate e *helicopter clearways*

L’Annesso definisce la *Helicopter Clearway* come un’area definita che si estende sul terreno o sull’acqua, sotto il controllo del gestore dell’eliporto, scelta e/o preparata come area adatta sulla quale un elicottero, che opera in classe 1, può accelerare e raggiungere una determinata altezza. La larghezza di una clearway non dovrebbe essere inferiore a quella dell’area di sicurezza associata e inoltre il suolo associato alla clearway non dovrebbe trovarsi al di sopra di un piano immaginario con una pendenza del 3% che si diparte dal bordo della FATO.

Qualsiasi oggetto situato su un’area libera da ostacoli che possa danneggiare l’elicottero in volo, dovrebbe essere considerato un ostacolo e pertanto dovrebbe essere rimosso.

Così come nel caso aeroportuale, anche per gli eliporti sono definite, all’interno dell’Annesso 6, delle distanze dichiarate, necessarie ad assicurare la *safety* delle operazioni di decollo e di atterraggio degli elicotteri. In particolare si hanno:

- la *Takeoff Distance Available for Helicopters* (TODAH), pari alla somma della lunghezza della FATO e dell’eventuale lunghezza della clearway, dichiarata disponibile ed idonea per il completamento delle operazioni di decollo degli elicotteri;
- la *Rejected Takeoff Distance Available for Helicopters* (RTODAH), ossia la lunghezza della FATO dichiarata disponibile e idonea per il completamento di un decollo abortito da parte di elicotteri operanti di prestazioni in classe 1;
- la *Landing Distance Available for Helicopters* (LDAH), pari alla somma della lunghezza della FATO e di un’area aggiuntiva dichiarata disponibile e idonea per il completamento della manovra di atterraggio (a partire da un’altezza ben definita) da parte degli elicotteri.

Le Figure 3.3 e 3.4 mostrano le distanze dichiarate per eliporti a livello del suolo in relazione alla classe 1 ed i relativi franchi di sicurezza che devono essere previsti dal sentiero di volo seguito da un elicottero, sia nel caso di motori entrambi funzionanti sia nel caso di avaria ad un motore (OEI – *One Engine Inoperative*), e si riferiscono rispettivamente ad operazioni di decollo e di atterraggio.

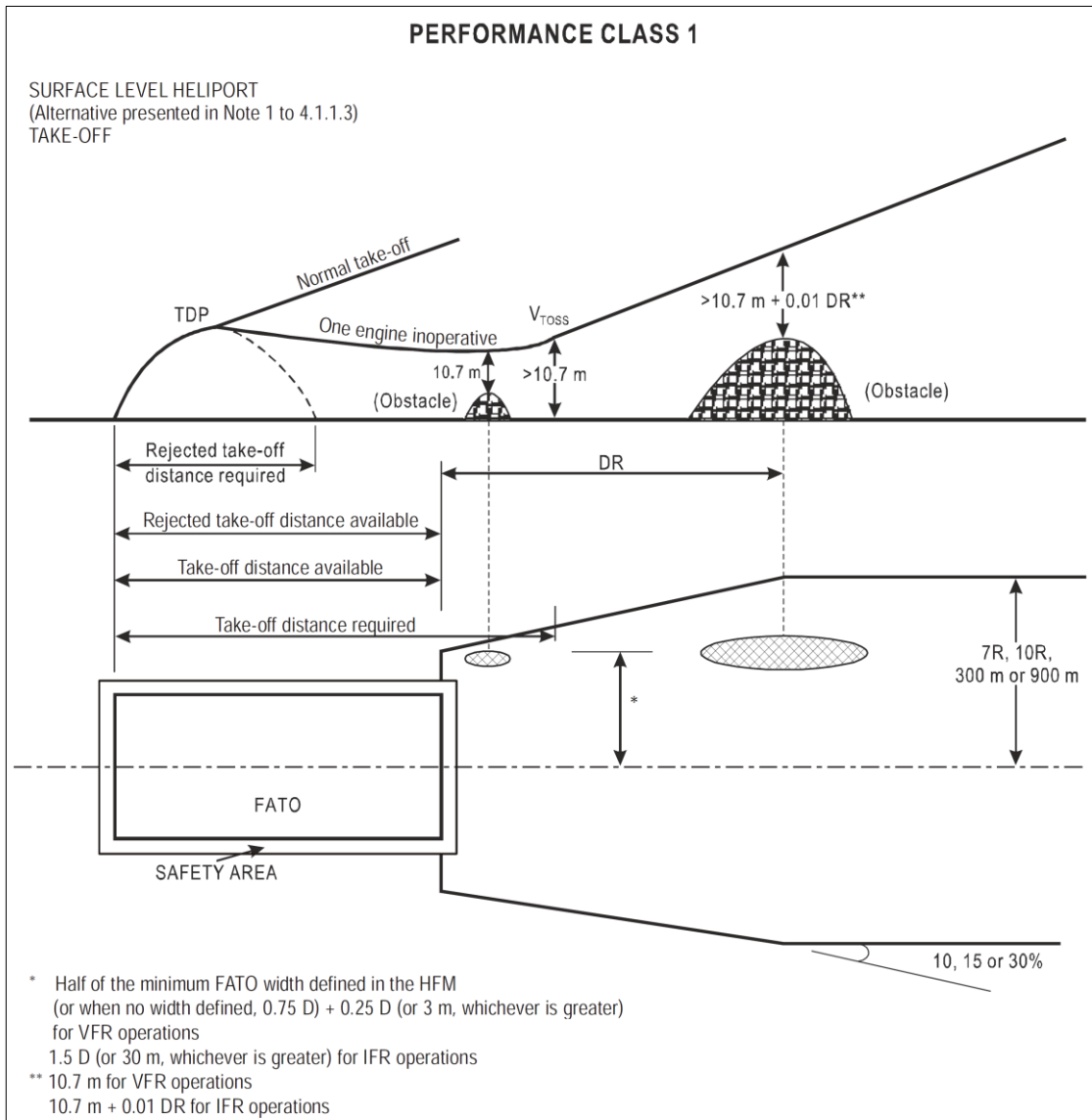


Figura 3.3 – Distanze dichiarate in decollo per un eliporto a livello del suolo (Fonte: ICAO Annesso 6)

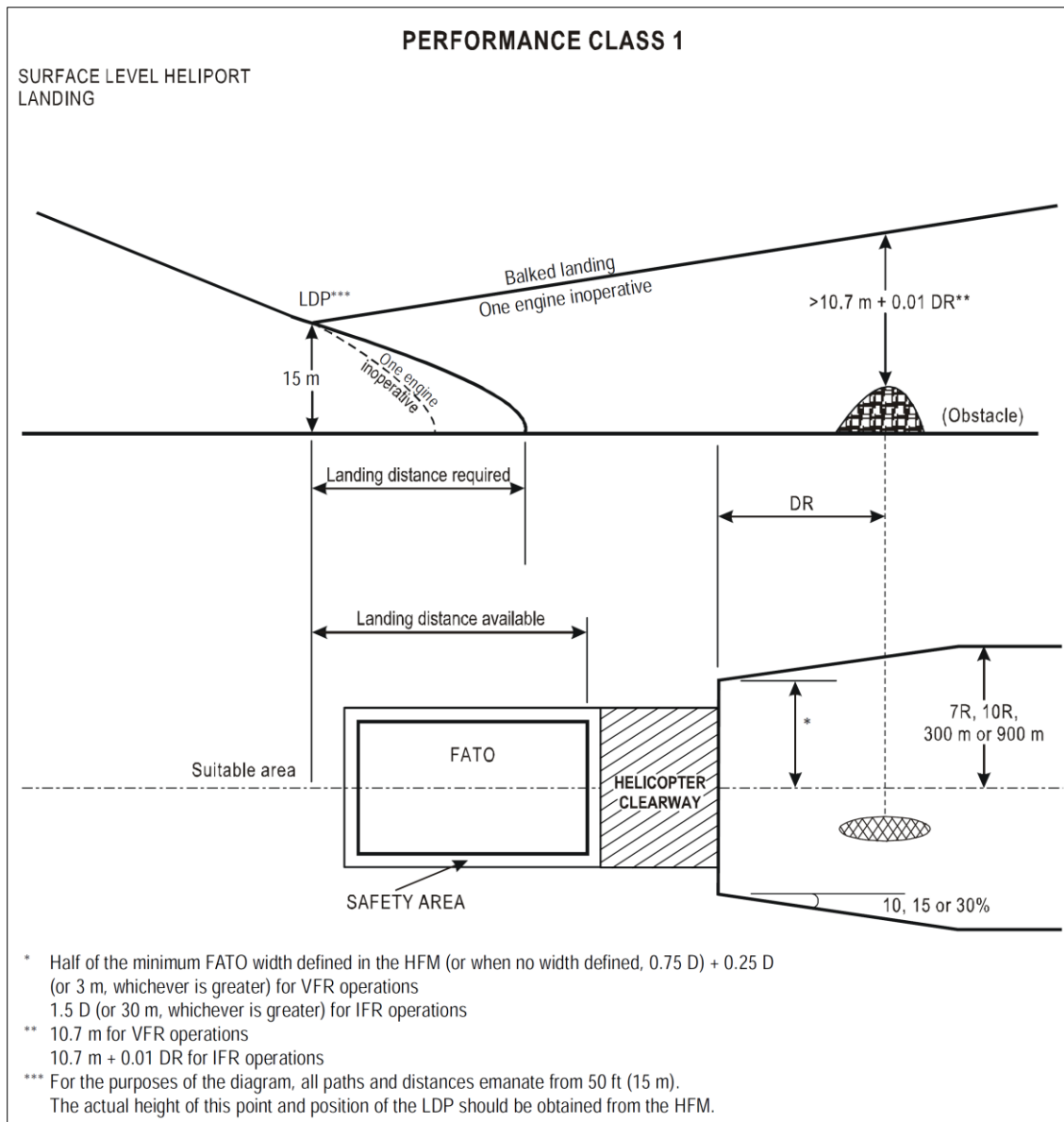


Figura 3.4 – Distanze dichiarate in atterraggio per un eliporto a livello del suolo
(Fonte: ICAO Annesso 6)

3.3 Infrastrutture per la movimentazione degli elicotteri all'interno di eliporti/aeroporti

Per consentire la movimentazione degli elicotteri da una parte all'altra dell'infrastruttura eliportuale è necessario realizzare opportune vie di rullaggio per elicotteri (*helicopter taxiway*). Queste hanno la funzione principale di collegare la FATO con il piazzale di sosta dei velivoli (*apron*) nonché la funzione "collaterale" di creare corsie di manovra all'interno dell'apron. Un sentiero di rullaggio per elicotteri (*helicopter taxi-route*) comprende una via di rullaggio più i franchi di sicurezza necessari su entrambi i lati. La relazione tra una taxiway ed una taxi-route è illustrata in Figura 3.5.

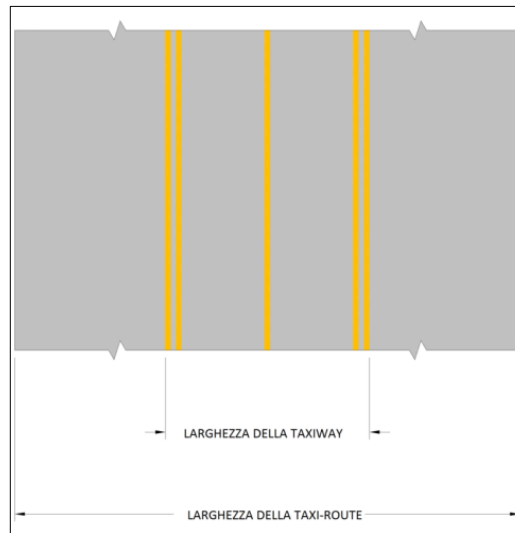


Figura 3.5 – Relazione tra taxiway e taxi-route (Fonte: FAA AC150/5390-2C)

Riguardo alla peculiarità dell'elicottero di mantenersi in quota a velocità di avanzamento molto bassa o addirittura nulla ed alle caratteristiche costruttive dei velivoli, si distinguono due tipologie di rullaggio. La prima, possibile solamente nel caso di elicotteri dotati di carrello munito di pneumatici, prevede il rullaggio a terra (*ground-taxi*). La seconda, possibile sia per gli elicotteri muniti di carrello che per quelli dotati di pattini, prevede il rullaggio ad una certa quota dal suolo (*air-taxi* secondo ICAO o *hover-taxi* secondo FAA). Le caratteristiche dimensionali delle infrastrutture per consentire la manovra sono diverse per i due casi. In linea del tutto generale si può quindi affermare che la scelta nella realizzazione di infrastrutture di rullaggio al suolo o in volo è dettata da:

- natura della superficie del suolo;
- spazio disponibile;
- effetti della turbolenza dovuti alla presenza di strutture;
- possibili conflitti con le operazioni dei velivoli ad ala fissa;
- tipologia di dispositivi di contatto al suolo dei mezzi (carrello o pattini).

Analizziamo dapprima le prescrizioni della FAA in merito. Le dimensioni delle taxiway e delle taxi-route sono definite nella AC-2C in funzione delle dimensioni dell'elicottero e della tipologia di rullaggio (al suolo o *hover-taxi*). Tali dimensioni sono indicate nella Tabella 3.2. Normalmente, le larghezze dei sentieri di rullaggio sono dettate dalla manovra di rullaggio in *hover-taxi*. Ad ogni modo, quando la flotta è composta da una combinazione di elicotteri di grandi e piccole dimensioni, l'elicottero più grande può determinare le larghezze delle vie di rullaggio. Se gli elicotteri dotati di carrello rullano con le ruote che non

sono a contatto con la superficie, l'infrastruttura dovrebbe essere progettata con le larghezze riguardanti l'hover-taxi piuttosto che al ground-taxi.

Ove non si possa garantire la visibilità della linea centrale della via di rullaggio in ogni condizione, caratteristica tipica delle zone in cui si verificano frequenti precipitazioni nevose o in cui la polvere oscura l'asse e non sia semplice rimuoverla, la dimensione minima della via di rullaggio dovrebbe, secondo la FAA, essere determinata come se non vi fosse il segnale orizzontale d'asse centrale della via di rullaggio.

Tabella 3.2 – Larghezza delle ground-taxiway (Fonte: FAA, AC150/5390-2C)

Tipologia della via di rullaggio	Tipologia di segnaletica orizzontale per l'asse centrale della taxiway	Tipologia di segnaletica orizzontale per il bordo della taxiway	Larghezza minima dell'area pavimentata	Distanza tra le strisce orizzontali di bordo taxiway	Larghezza complessiva del sentiero di rullaggio
Ground-taxiway	Pittura	Pittura	2 UC	2 UC	1,5 RD
Hover-taxiway	Pittura	Pittura	2 UC	2 UC	2 RD
<p><u>Legenda:</u> RD (<i>rotor diameter</i>): diametro del rotore principale dell'elicottero di progetto UC (<i>maximum undercarriage spread dimension</i>): dimensione massima (lunghezza o larghezza) del carrello dell'elicottero di progetto</p>					

La superficie delle vie di rullaggio deve in ogni caso essere realizzata in conglomerato cementizio o in asfalto e le porzioni non pavimentate dei sentieri di rullaggio devono avere una copertura erbosa o essere trattate in modo tale da prevenire la produzione di detriti o polvere che possono essere sollevati a causa dell'effetto *downwash* del rotore. Le pendenze delle vie e dei sentieri di rullaggio non devono eccedere il 2% longitudinalmente e devono essere comprese tra lo 0,5% ed il 2% trasversalmente.

In merito alle vie di rullaggio, l'Annesso 14 ICAO specifica che se l'infrastruttura di rullaggio è progettata per consentire la movimentazione di velivoli ad ala fissa e ad ala rotante, essa deve essere realizzata in base ai requisiti più stringenti tra i due, consultando anche le prescrizioni contenute nel Volume I dell'Annesso 14. La larghezza di una via di rullaggio al suolo è stabilita in funzione della larghezza del carrello dell'elicottero di progetto nella misura di 1,5 volte il parametro UCW (*Undercarriage Width*) ossia la più grande dimensione (larghezza o lunghezza) del carrello dell'elicottero di progetto. La dimensione della ground taxi-route è invece fissata nella misura di 1,5 volte la larghezza fuori tutto dell'elicottero di progetto (Figura 3.6). L'Annesso 14 suggerisce inoltre una pendenza longitudinale della ground taxiway non superiore al 3%, una pendenza trasversale non superiore al 2% ed una capacità di carico di tipo statico. Come si vede in Figura 3.6, la ground

taxi-route è centrata sulla taxiway e si estende simmetricamente su entrambi i lati della stessa (per almeno 0,75 volte la larghezza massima dell'elicottero che utilizzerà la taxiway, secondo quanto prescritto nell'Annesso).

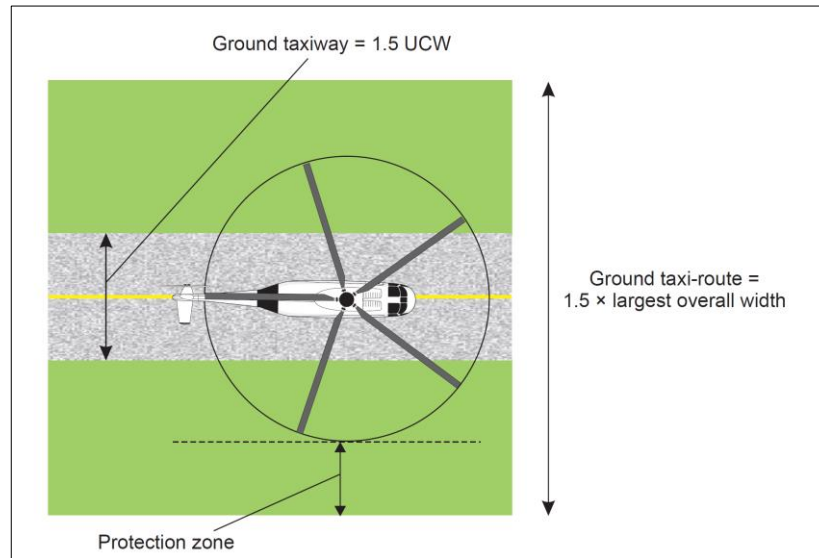


Figura 3.6 – Relazione tra ground taxiway e ground taxi-route (Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

Tali prescrizioni si modificano nel caso di eliporti in elevazione: in questo caso, la larghezza della ground taxiway deve essere pari a 2 UCW e l'estensione della ground taxi-route ai bordi della taxiway deve essere pari almeno ad una volta la larghezza massima dell'elicottero che la utilizzerà.

Le separazioni tra una via di rullaggio al suolo e un'altra via di rullaggio al suolo, una via di rullaggio in volo, un qualsiasi oggetto fisso o la piazzola di parcheggio di un elicottero non devono essere inferiori alle dimensioni indicate nella Tabella 3.3, tratta dall'*Helicopter Manual*.

Tabella 3.3 – Distanze di separazione per le infrastrutture di rullaggio espresse in multipli della larghezza massima dell'elicottero di progetto (Fonte: ICAO *Helicopter Manual*)

Infrastruttura	Ground taxiway	Air taxiway	Oggetto fisso	Stand
Ground taxiway	2 (tra i margini)	4 (tra gli assi)	1 (dal margine)	2 (tra i margini)
Air taxiway	4 (tra gli assi)	4 (tra gli assi)	1,5 (dall'asse)	4

La superficie della ground taxiway deve essere trattata al fine di prevenire gli effetti di sollevamento di detriti dovuti al *downwash* del rotore.

Per quanto riguarda invece le air taxiway, l'ICAO specifica che il rullaggio in volo deve avvenire ad una velocità non superiore a 37 km/h. La larghezza di una air taxiway dovrebbe essere, secondo l'ICAO, almeno pari a 2 UCW mentre per la air taxi-route è fissata una

larghezza pari a 2 volte la larghezza massima dell'elicottero che utilizzerà l'infrastruttura (Figura 3.7).

Le pendenze trasversali e longitudinali di una air taxiway non devono superare rispettivamente il 10% (2% nel caso di eliporti in elevazione) ed il 7%, e in ogni caso non devono eccedere le limitazioni nelle pendenze di atterraggio degli elicotteri che utilizzeranno l'eliporto. La superficie di una air taxiway dovrebbe inoltre fornire effetto suolo ed essere preparata in modo da resistere agli effetti del *downwash* del rotore. Come si vede in Figura 3.7, anche la air taxi-route è centrata sulla air taxiway e si estende simmetricamente su entrambi i lati della stessa, in questo caso in misura pari almeno alla larghezza massima dell'elicottero che utilizzerà la taxiway, secondo quanto prescritto nell'Annesso. Anche qui, le prescrizioni si modificano nel caso di eliporti in elevazione: in questo caso, la larghezza della air taxiway deve essere pari a 3 UCW e l'estensione della air taxi-route ai bordi della taxiway deve essere pari almeno ad una volta la larghezza massima dell'elicottero che utilizzerà la stessa.

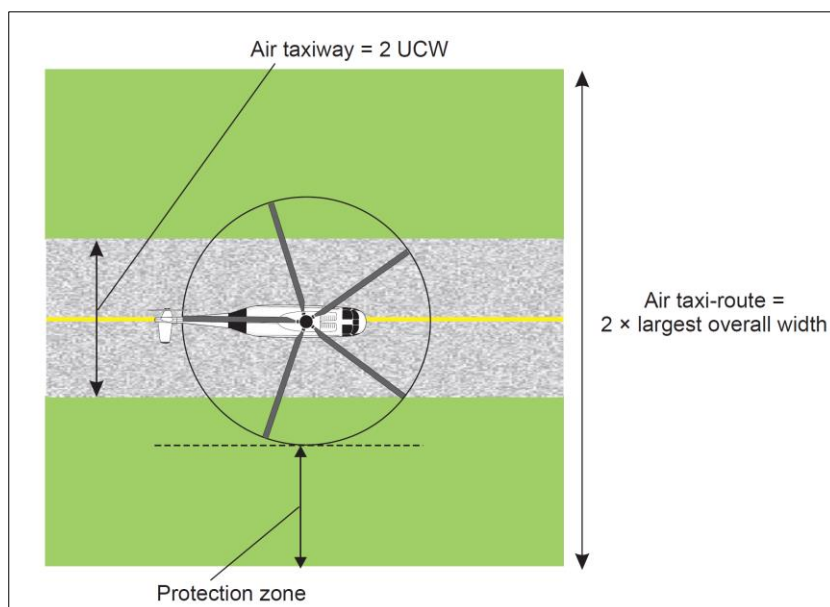


Figura 3.7 – Relazione tra air taxiway ed air taxi-route
(Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

L'Annesso parla inoltre di *air transit routes*, ovvero sentieri di transito in volo al fine di consentire agli elicotteri di muoversi rapidamente in sicurezza e tra zone di un eliporto o di un aeroporto molto distanti tra loro, generalmente ad una quota non superiore ai 30 m e ad una velocità inferiore a 37 km/h. La realizzazione di sentieri di transito in volo richiede grandi disponibilità di spazio (larghezze superiori ai 200 m durante le operazioni notturne) libero da qualsiasi ostacolo lungo la rotta ed al di sotto di essa, la cui superficie sottostante

deve possedere adeguate caratteristiche di portanza in modo tale da consentire atterraggi di emergenza. La larghezza di una *air transit route* dovrebbe, secondo l'Annesso ICAO, non essere inferiore a 7 volte (nel caso di operazioni diurne) o 10 volte (nel caso in cui siano previste anche operazioni notturne) il diametro del rotore dell'elicottero che si muoverà lungo la rotta. Inoltre qualsiasi variazione nella direzione dell'asse del sentiero non dovrebbe superare i 120° e i raggi dei tratti curvilinei non essere inferiori a 270 m. Questi sentieri devono consentire atterraggi forzati dovuti a fenomeni di autorotazione o con un motore in avaria (OEI – *One Engine Inoperative*), al fine di minimizzare il rischio di danni a persone o cose.

3.4 Infrastrutture per lo stazionamento degli elicotteri all'interno di eliporti/aeroporti

Un eliporto per trasporto pubblico deve avere un apron pavimentato adibito allo stazionamento degli elicotteri. La dimensione di quest'area è funzione del numero e della dimensione specifica degli elicotteri che essa dovrà accogliere ed è quindi direttamente connesso al traffico e alla domanda di trasporto che interessano lo scalo. Analogamente a come si è proceduto per le infrastrutture di volo e per le vie di rullaggio, anche per l'apron si seguirà la linea di analisi comparativa tra i documenti di riferimento redatti dai due principali enti notificatori in materia, la FAA e l'ICAO. Sarà dapprima analizzato il contenuto dell'Annesso 14 Volume II e, per alcune prescrizioni, dell'*Heliport Manual* ed in seguito i contenuti della circolare FAA AC-2C. L'*Heliport Manual* non si dilunga molto a riguardo in quanto rimanda ai Volumi I e II dell'Annesso 14. In particolare il Volume II fissa la dimensione minima di uno stand in modo tale che questo sia sufficientemente grande da contenere una circonferenza di diametro pari almeno a 1,2 D del più grande elicottero che vi stazionerà all'interno. Se la piazzola è progettata per consentire le manovre di ingresso ed egreso senza che l'elicottero possa ruotare su se stesso all'interno di essa (manovra *taxi-through*), la larghezza minima della stessa e dell'area di protezione pertinente è quella indicata nella Figura 3.8. Quando invece si prevede che l'elicottero possa compiere una rotazione all'interno dello stand in hover (*hover-turn*), quest'ultimo deve avere una dimensione complessiva (compresa l'area di protezione) non minore di 2D (Figura 3.9). Come si evince dalla stessa Figura 3.9, lo stand deve essere circondato da un'area di protezione che si estende oltre il bordo della piazzola per non meno di 0,4D.

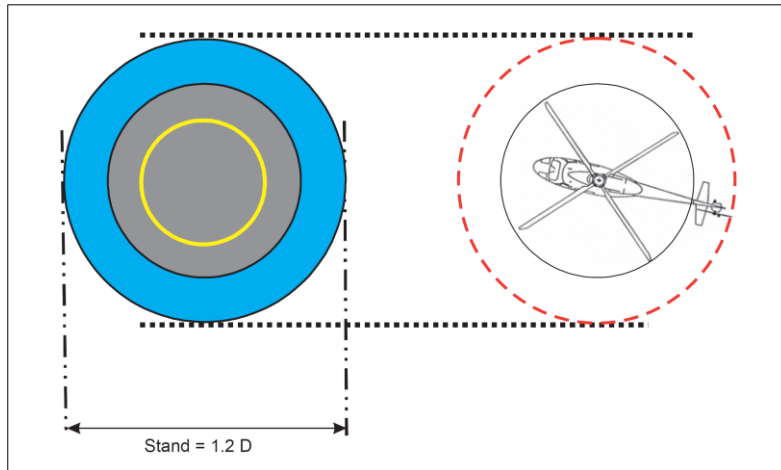


Figura 3.8 – Dimensione minima dello stand nel caso di manovra *taxi-through*
(Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

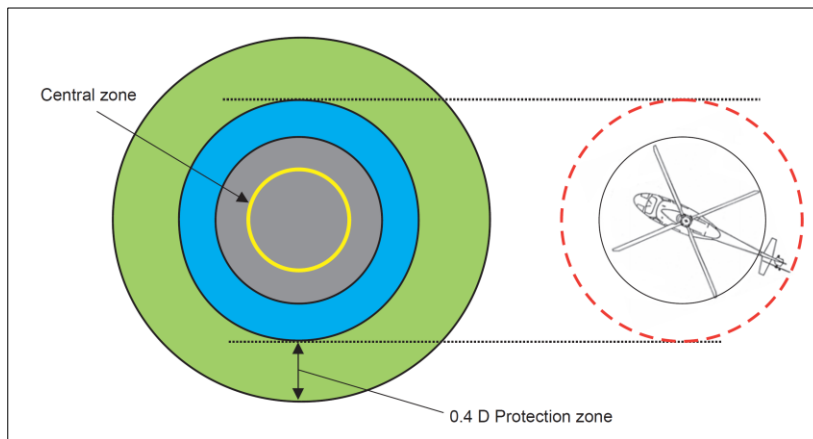


Figura 3.9 – Dimensione minima dello stand nel caso di manovra *hover-turn*
(Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

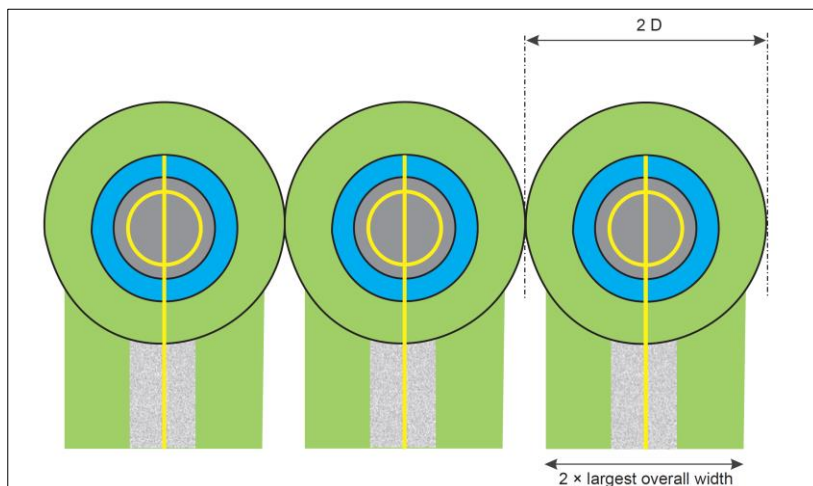


Figura 3.10 – Stand progettati per *hover-turns* con air taxi-routes annesse
(Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

Possono essere previste più piazzole adiacenti in un apron. Se si prevedono operazioni simultanee, le aree di protezione degli stand e le taxi-ruote associate non devono sovrapporsi

(Figura 3.10). Quando invece si prevedono operazioni non simultanee, le aree di protezione degli stand e le taxi-ruote associate possono sovrapporsi (Figura 3.11). Quando si prevede che uno stand possa essere utilizzato per operazioni di rullaggio al suolo da parte di elicotteri dotati di carrello, le dimensioni dello stand dovrebbero tenere in considerazione i raggi di curvatura minimi dell'elicottero per il quale esso è progettato. La piazzola dovrebbe inoltre essere in grado di fornire effetto suolo e al suo interno (compresa l'area di protezione) non essere presenti oggetti fissi. La porzione centrale dello stand dovrebbe essere in grado di sopportare il carico statico dell'elicottero di progetto, con un'area di carico di tipo statico di diametro non inferiore a $0,83 D$ dell'elicottero più grande che vi stazionerà oppure pari alla larghezza della ground taxiway nel caso in cui lo stand venga usato per manovre *taxi-through*. Evidentemente la dimensione dell'area di carico statica aumenterà nel caso in cui si prevede che siano effettuate manovre di rotazione al suolo. Nel caso di eliporti in elevazione, se si prevedono manovre di rullaggio in volo sulla piazzola, questa dovrà avere capacità di carico dinamica.

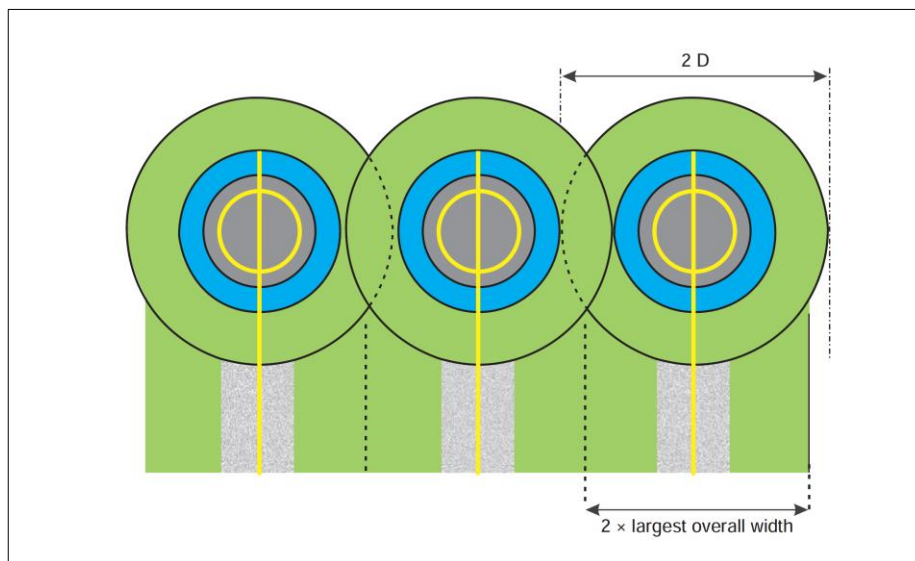


Figura 3.11 – Stand progettati per manovre non simultanee
(Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

La FAA fornisce un elenco di indicazioni di gran lunga più dettagliate rispetto all'ICAO. Per prima cosa, specifica che non è necessario che ogni piazzola debba essere in grado di accogliere l'elicottero di progetto: le piazzole dovrebbero essere progettate per ospitare l'elicottero di date dimensioni e peso stabilite per quella piazzola. Ad ogni modo, la AC-2C specifica i requisiti di separazione tra le piazzole e le vie di rullaggio in relazione all'elicottero di progetto. Le piazzole devono sopportare i carichi statici trasmessi dagli elicotteri che vi stazioneranno. Evidentemente, i raggi di curvatura richiesti per il rullaggio a

terra sono significativamente più grandi di quelli richiesti per il rullaggio in volo e per tale motivo la progettazione delle intersezioni delle vie di rullaggio e delle piazzole per gli elicotteri dotati di ruote dovrebbe tenere in considerazione i raggi di curvatura richiesti dagli elicotteri durante le manovre. Le aree di parcheggio degli elicotteri devono essere disegnate in modo tale che gli elicotteri che vi stazioneranno, siano parcheggiati con un orientamento atto a garantire spazi sufficienti tra l'arco generato dalla rotazione dell'estremità del rotore di coda ed i percorsi pedonali. Possono essere presenti diversi spazi all'interno degli eliporti/aeroporti adibiti ad apron per funzioni specifiche come l'imbarco e lo sbarco dei passeggeri, la piccola manutenzione ed il parcheggio temporaneo o permanente degli elicotteri.

Le aree di parcheggio degli elicotteri non devono trovarsi al di sotto della superficie di avvicinamento/decollo, ma possono comunque trovarsi al di sotto delle superfici di transizione, di cui si parlerà più avanti. Lo stand deve essere disposto in modo tale da fornire una distanza minima tra l'arco generato dalla rotazione dell'estremità del rotore di coda e qualsiasi altro oggetto o edificio o l'area di sicurezza. La distanza minima è pari a 3 m per le operazioni di rullaggio al suolo e pari alla maggiore tra $1/3 RD$ e 3 m per le operazioni di rullaggio in volo.

La piazzola deve inoltre essere posizionata in modo da fornire una distanza minima di $0,5 RD$ ma comunque non minore di 9,1 m tra l'arco generato dalla rotazione dell'estremità del rotore di coda ed il margine di qualsiasi via di rullaggio. Le dimensioni della piazzola dipendono, come già specificato, da quelle dell'elicottero che vi stazionerà. I franchi di sicurezza tra le posizioni di parcheggio dipendono dalla tipologia di operazione di rullaggio (al suolo o in volo) e dai percorsi stabiliti per le manovre di ingresso ed egresso dalla piazzola. In genere, quando l'elicottero di dimensioni maggiori è molto ingombrante e dotato di carrello, e gli elicotteri dotati di pattini sono molto più piccoli, i requisiti dimensionali del parcheggio per gli elicotteri dotati di carrello sono i più restrittivi. Se gli elicotteri dotati di carrello eseguono le operazioni di rullaggio con le ruote che non sono a contatto con la superficie, le aree di parcheggio dovrebbero essere progettate in base ai criteri per il rullaggio in volo piuttosto che per quelli relativi al ground-taxi.

Se invece si prevede la realizzazione di piazzole tutte della stessa dimensione, queste devono essere sufficientemente larghe da accogliere l'elicottero più grande che opererà sull'eliporto. Quando si prevede più di una piazzola, l'infrastruttura può essere progettata con posizioni di parcheggio di diverse dimensioni con almeno una in grado di accogliere l'elicottero più grande che opererà sull'eliporto. Le altre piazzole possono essere più picco-

le, disegnate per la dimensione del singolo o della classe di elicotteri che stazionerà in quella posizione. Le Figure 3.12 e 3.13 mostrano rispettivamente i layout di parcheggio di tipo “*turn-around*” e “*taxi-through*” (in questo caso l’operatore ed il gestore eliportuale dovrebbe adottare adeguate misure per assicurare che tutti i piloti siano informati del fatto che non sono permesse partenze di tipo *turn-around* in quella piazzola). Esiste tuttavia un terzo tipo di schema di parcheggio per gli elicotteri ovvero quello di tipo “*Back-out*”, non utilizzabile però negli eliporti per trasporto pubblico.

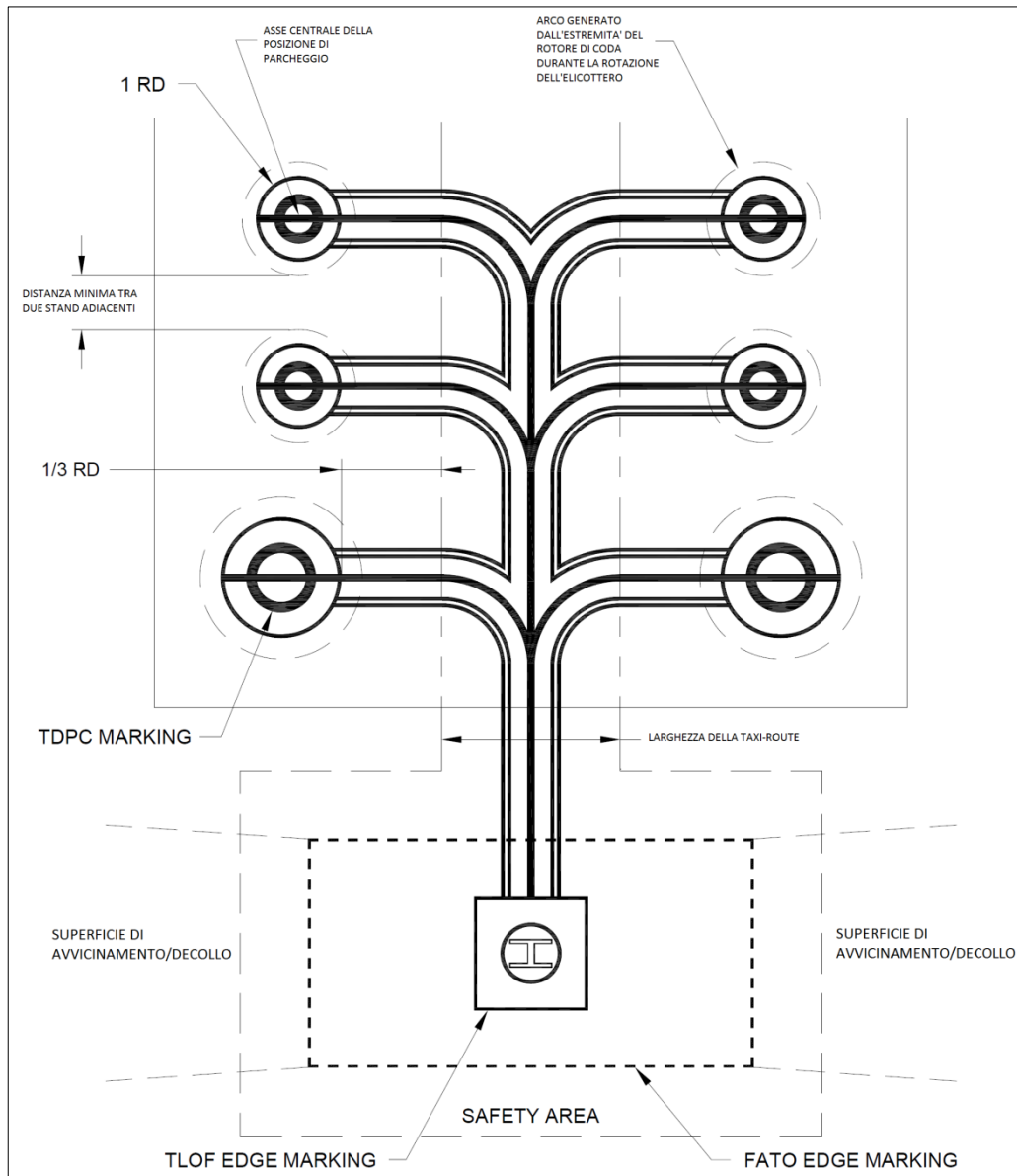


Figura 3.12 – Schema di apron di tipo *turn-around*
(elaborazione su Fonte: FAA AC150/5390-2C)

In corrispondenza delle piazzole, devono prevedersi opportuni sentieri pedonali adeguatamente segnalati. Il layout dei sentieri dovrebbe minimizzare l’esposizione dei passeggeri al rischio per la sicurezza durante le operazioni di imbarco e di sbarco. Dovrebbe essere rea-

lizzato un marciapiede in modo tale che il carburante che di sovente viene sversato durante il *refueling* non drena sui sentieri pedonali o verso gli elicotteri parcheggiati. Il rifornimento degli elicotteri è in genere eseguito tramite l'utilizzo di autobotti o in corrispondenza di aree specifiche dell'eliporto dotate di asole contenenti serbatoi interrati con bocchettoni estraibili. I sistemi per lo stoccaggio e per l'erogazione del carburante devono rispettare la normativa nazionale e locale. Le linee guida principali si trovano nella circolare FAA AC 150/5230-4 e nei documenti della NFPA. Le postazioni di rifornimento devono essere indicate e segnalate in modo da minimizzare il rischio di collisione degli elicotteri con i dispositivi di erogazione e le zone rifornimento dovrebbero essere progettate in modo che nessun oggetto annesso abbia una altezza tale da essere investito dalle pale dell'elica di coda all'interno di una zona ampia RD (riferito all'elicottero di progetto) dal punto centrale della piazzola, quando l'elicottero verrà rifornito. Qualora questo non fosse facilmente realizzabile in un'infrastruttura esistente, la FAA afferma che dovrebbero essere installate manichette flessibili di lunghe dimensioni.

La zona rifornimento dovrebbe essere illuminata se sono contemplate operazioni di rifornimento durante le ore notturne. In corrispondenza delle aree di stazionamento per gli elicotteri, dovrebbero essere installati ancoraggi interrati per garantire lo stazionamento permanente degli elicotteri in transito. Dovrebbe inoltre prestarsi attenzione che tutte le depressioni nella pavimentazione sulle quali sono collocati gli ancoraggi abbiano la dimensione principale non maggiore di metà della larghezza della ruota o del pattino del più piccolo elicottero che opererà nell'eliporto, per evitare danni ai velivoli. Inoltre, i cunei, le catene, le funi e i cavi adoperati per gli ancoraggi degli elicotteri dovrebbero essere stoccati in posizioni remote rispetto alla superficie in modo da prevenire la rottura dei dispositivi di contatto al suolo dei velivoli. Una guida su quest'argomento si trova nella circolare FAA AC 20-35.

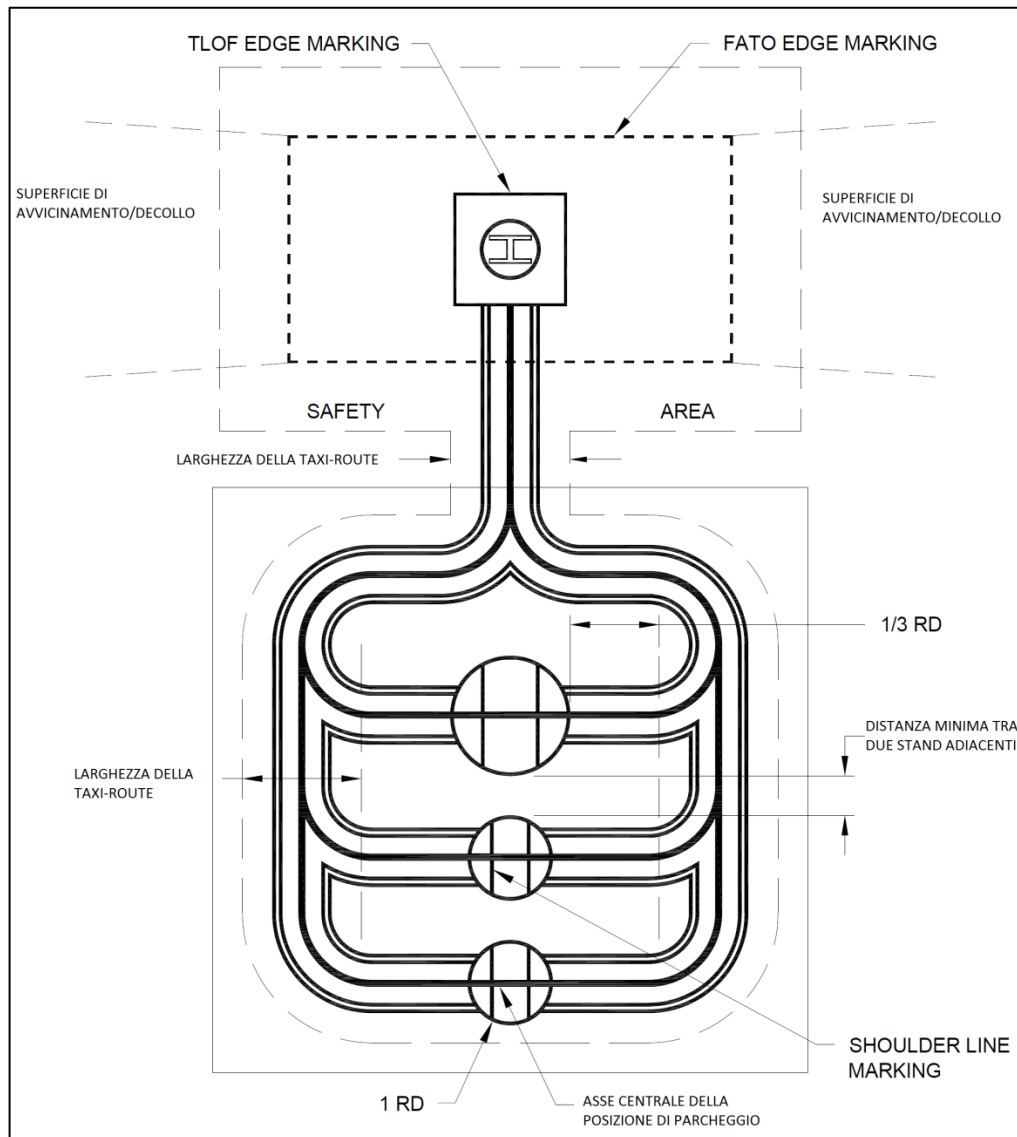


Figura 3.13 – Schema di apron di tipo *taxi-through*
(elaborazione su Fonte: FAA AC150/5390-2C)

3.5 Segnaletica orizzontale di eliporto

La segnaletica orizzontale di eliporto, così come nel caso degli aeroporti, ha lo scopo di fornire ai piloti guida e informazioni. Pertanto è necessario che tali dispositivi siano evidenti e chiari e siano ridipinti, puliti o rimpiazzati, non appena la loro visibilità appare compromessa. La segnaletica orizzontale deve essere realizzata con materiali chiaramente visibili sia di giorno che di notte, anche in presenza di condizioni meteorologiche critiche o con pavimentazione bagnata; nei casi di elevata frequenza di avverse condizioni atmosferiche, possono essere utilizzati materiali con particolare capacità rifrangenti. I segnali orizzontali possono essere dipinti con vernice o retroriflettente, strisce riflettenti o materiali ad alte prestazioni. Le linee tracciate sulla pavimentazione possono essere larghe 15 cm ed

avere un colore contrastante con quello dell'asfalto in modo tale da incrementare la visibilità ed accrescere la consapevolezza da parte dei piloti e degli operatori. I segnali che definiscono i limiti della TLOF, della FATO, delle vie di rullaggio e dell'apron sono localizzati all'interno dei limiti di queste aree.

Piuttosto che elencare tutte le prescrizioni per le differenti tipologie di *marking* si preferisce in questa sede illustrare il quadro generale dei segnali proposti da FAA e ICAO e, in seguito, mettere in risalto le eventuali criticità dovute al disallineamento delle prescrizioni contenute nei diversi documenti. La Tabella 3.4 mostra i tipi di segnali orizzontali contemplati nelle normative redatte da ICAO e FAA.

Tabella 3.4 – Tipologie di *marking* contemplati nei due documenti

	Tipologia di <i>marking</i>	ICAO Annesso 14/ <i>Heliport Manual</i>	FAA AC 150/5390-2C
Generali	Identificazione dell'eliporto	✓	✓
	Nome dell'eliporto	✓	✗
	Eliporto chiuso	✗	✓
	Percorsi pedonali	✓	✗
	Perimetro della FATO	✓	✓
	Designazione della FATO	✓	✗
	Guida per l'allineamento sul sentiero di volo	✗	✓
	Ground Taxiway	✓	✓
	Air Taxiway	✓	✗
	Rotte di transito in volo	✓	✗
	Punto di mira (<i>Aiming Point</i>)	✓	✗
Helideck	Settore libero da ostacoli	✓	✗
	Superficie della FATO	✓	✗
	Settore vietato per l'atterraggio	✓	✗
TLOF	Perimetro della TLOF	✓	✓
	TDPC (<i>Touchdown/Positioning Circle</i>) sulla TLOF	✗	✓
	Dimensione massima ammissibile sulla TLOF	✗	✓
	Peso massimo ammissibile sulla TLOF	✓	✓
	Punto di atterraggio	✓	✗
Posizione di parcheggio dell'elicottero	Identificazione dello stand	✗	✓
	RD (<i>Rotor Diameter</i>)	✗	✓
	TDPC (<i>Touchdown/Positioning Circle</i>)	✓	✓
	Dimensione massima ammissibile sullo stand	✗	✓
	Peso massimo ammissibile sullo stand	✗	✓
	Segnalazione del fianco del velivolo	✗	✓
Legenda: ✓ incluso nel documento ✗ escluso nel documento			

Dall'analisi effettuata si può notare come la normativa ICAO sia del tutto carente in riferimento alle indicazioni sulla segnaletica orizzontale dell'area di parcheggio degli elicotteri. Tali prescrizioni sono invece inserite nella circolare AC-2C, alla luce delle notevoli criticità emerse negli ultimi anni in seguito a numerosi incidenti avvenuti proprio in corrispondenza dello stand in diversi aeroporti statunitensi.

L'Annesso 14 prevede una marcatura posta all'interno della TLOF o dello stand, necessaria come ausilio al pilota per il corretto posizionamento in una zona specifica, in modo tale che quando il pilota (seduto nella posizione di pilotaggio) si trova in corrispondenza del segnale (al di sopra di esso), il carrello del velivolo si trovi all'interno dell'area portante della TLOF o dello stand, e tutte le parti rotanti dell'elicottero (in particolare le estremità del rotore di coda) siano contenute all'interno della FATO, con un certo margine di sicurezza. Tale segnale è molto conveniente in quanto minimizza le dimensioni della superficie portante (TLOF) e al contempo mantiene o massimizza i franchi di sicurezza intorno all'elicottero (vedi Figure 3.14 e 3.15). E' bene in questo caso progettare questo tipo di segnale per l'elicottero più grande che utilizzerà l'infrastruttura. Tuttavia, alcuni studi della IFHA hanno dimostrato come alcuni elicotteri, correttamente posizionati sul marking in questione, hanno alcune parti (rotore principale o di coda) aggettanti rispetto all'area designata per la FATO (Figura 3.15).

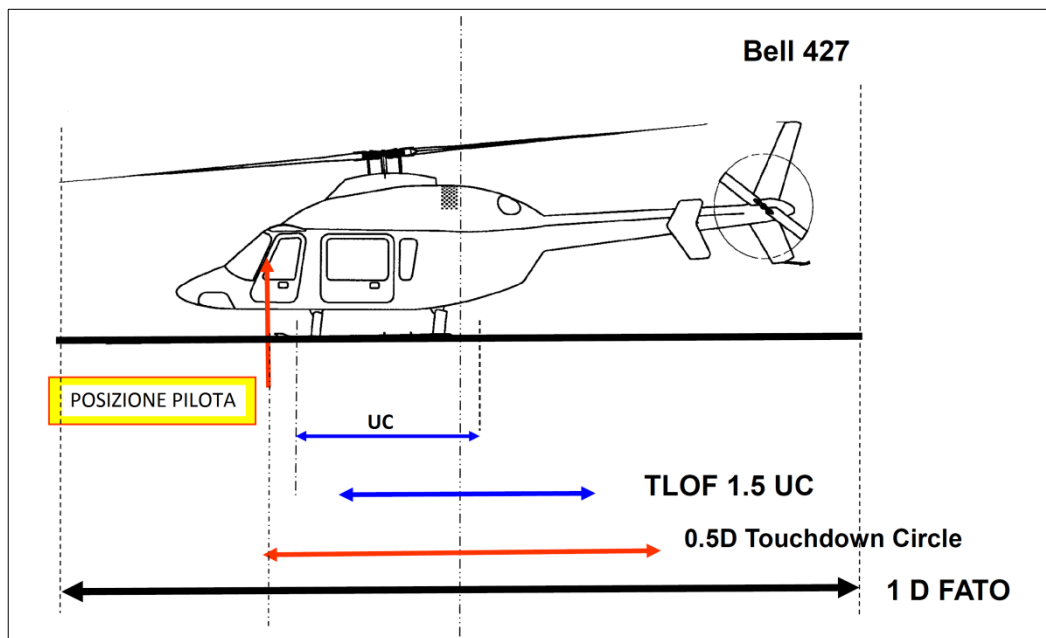


Figura 3.14 – *Touchdown/Positioning marking* per un Bell 427 (elaborazione su Fonte: Leverton)

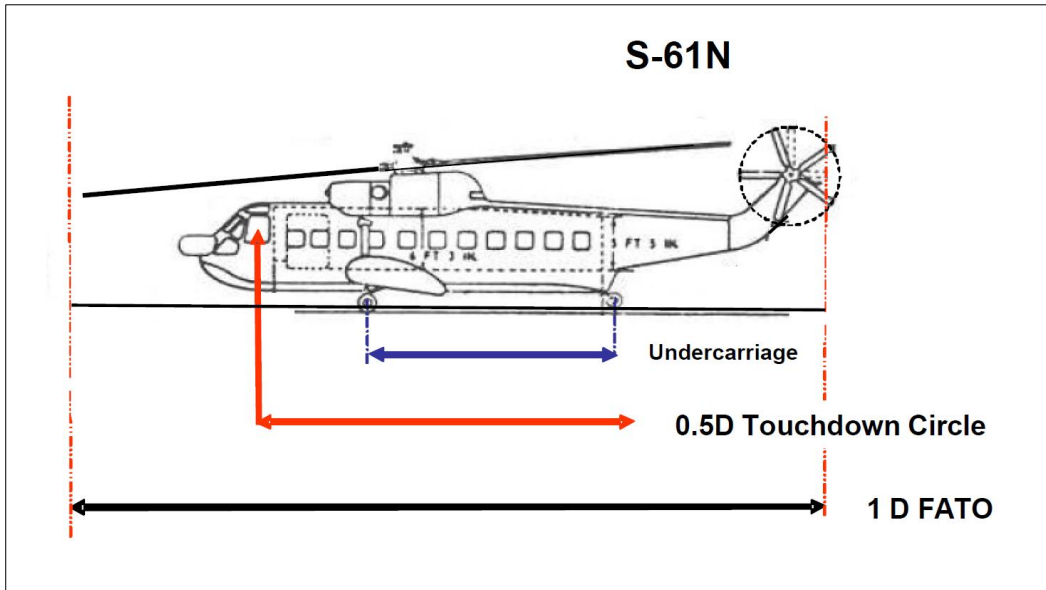


Figura 3.15 – *Touchdown/Positioning marking* per un Sikorsky 61N
(elaborazione su Fonte: Leverton)

In altri casi, nonostante il pilota si trovi al di sopra del *Touchdown/Positioning marking*, di diametro pari a 0,5 D, la distanza tra gli assi anteriori e posteriori del carrello è tale da non essere contenuta all'interno del “*Touchdown Circle*” : è questo il caso del Sikorsky UH-70/Blackhawk (Figura 3.15a).

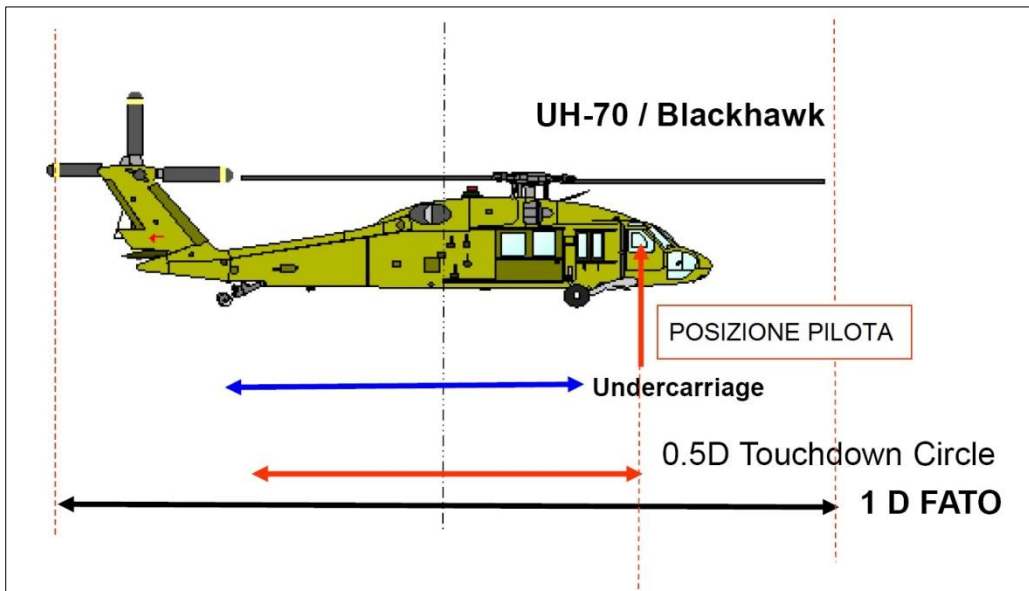


Figura 3.15a – *Touchdown/Positioning marking* per un Sikorsky UH-70/Blackhawk
(elaborazione su Fonte: Leverton)

3.6 Segnaletica verticale e luminosa di eliporto

Se si prevede che siano contemplate operazioni notturne, l'eliporto necessita di essere illuminato con luci perimetrali per la FATO e/o la TLOF. La Tabella 3.5 mostra le tipologie di segnali luminosi contemplate nell'Annesso 14 ICAO Vol. II/*Heliport Manual* e nella FAA AC-2C. La circolare FAA specifica che le antenne, i pali, i cavi, le gru, le torri di alimentazione e altri oggetti simili non segnalati, spesso difficili da vedere anche nelle migliori condizioni meteorologiche e di visibilità diurna, non consentono ai piloti di eseguire manovre correttive in tempo utile ad evitarli. I piloti possono scongiurare il rischio di impatto con questi oggetti durante le operazioni in quota, sorvolando ben al di sopra di essi. Di contro, durante le operazioni di decollo ed avvicinamento, si richiedono manovre in prossimità del livello del suolo e gli ostacoli sopra citati possono pregiudicare la sicurezza. Un ormai noto e purtroppo tragico avvenimento, la cui notizia ha destato sgomento a livello mediatico, è stato l'impatto al suolo dell'AW109E nel quartiere di Vauxhall a Londra, il 16 gennaio 2013. In quel caso, le condizioni meteorologiche hanno fortemente compromesso la visibilità della gru da cantiere. Una guida sulla segnalazione degli oggetti è comunque contenuta all'interno di una specifica circolare FAA, la AC 70/7460-1.

Tabella 3.5 – Tipologie di segnali luminosi contemplati nei documenti ICAO e FAA

	Tipologia di segnale luminoso	ICAO Annesso 14/ <i>Heliport Manual</i>	FAA AC 150/5390-2C
FATO	Faro d'eliporto	✓	✓
	Riflettori sull'apron	✗	✓
	Luci perimetrali FATO a livello del suolo	✓	✓
	Luci perimetrali FATO in elevazione	✓	✓
Taxiway/ Taxi-route	Luci d'asse della ground taxiway	✓	✓
	Luci dei margini della ground taxiway	✓	✓
	Luci d'asse della air taxiway	✓	✗
	Luci dei margini della air taxiway	✓	✗
	Luci del sentiero di transito in volo	✓	✗
Sentieri di decollo/atterraggio	PAPI, APAPI, HAPI (<i>Approach Slope Indicator</i>)	✓	✓
	Luci del punto di mira	✓	✗
	Luci direzionali di atterraggio	✗	✓
	Luci di allineamento sul sentiero di volo	✓	✓
	Illuminazione degli ostacoli	✓	✓
TLOF	Luci perimetrali della TLOF	✓	✓
	Luci aggiuntive della TLOF	✓	✓

L'*Heliport Manual* dedica una parte specifica alla segnaletica luminosa degli eliporti in elevazione ed in particolare ai sistemi VAGS (*Visual Alignment Guidance System*) e HAPI (*Helicopter Approach Path Indicator*). Al fine di indicare la direzione e l'intensità del vento, e consentire quindi al pilota di operare in completa sicurezza, la circolare AC-2C e l'Annesso 14 Volume II affermano che nell'eliporto deve essere presente almeno una manica a vento conforme alle specifiche dei due documenti. Secondo FAA la manica a vento dovrebbe essere realizzata con colorazioni tali da fornire il miglior contrasto possibile in modo da essere visibile anche nelle più avverse condizioni meteorologiche. La manica a vento deve essere localizzata in modo tale da fornire ai piloti informazioni valide circa la direzione e l'intensità del vento nelle vicinanze dell'eliporto sotto tutte le condizioni anemometriche. In alcune situazioni, possono esservi più localizzazioni ottimali per il posizionamento della manica a vento. Viceversa in altre zone, può non essere possibile porre la manica a vento nel punto ritenuto come ottimale. Conseguentemente, può essere necessaria più di una manica a vento al fine di fornire ai piloti tutte le informazioni sul vento necessarie per la sicurezza delle operazioni. Nella AC-2C è prescritto che un pilota che percorre il sentiero di avvicinamento deve essere in grado di vedere una manica a vento in modo chiaro quando l'elicottero si trova ad una distanza di 152 m dalla TLOF. I piloti devono inoltre essere in grado di vedere una manica a vento dalla TLOF. Al fine di evitare che le maniche a vento costituiscano un pericolo di ostruzione durante le operazioni di decollo, atterraggio e durante la movimentazione dei velivoli in prossimità del suolo, queste devono essere localizzate all'esterno dell'area di sicurezza, e non devono forare le superfici di avvicinamento/decollo e di transizione, di cui si parlerà nei paragrafi successivi. Per segnalare la presenza delle maniche a vento durante le operazioni notturne, queste devono essere illuminate per assicurare condizioni di visibilità ottimali. La FAA rimanda comunque alla circolare AC 150/5345-27 per specifiche più dettagliate sulle caratteristiche dimensionali e cromatiche degli indicatori di direzione del vento. L'*Heliport Manual* fornisce delle dimensioni minime precise per la realizzazione delle maniche a vento (Figura 3.16) e comunque specifica che esse devono essere sufficientemente grandi da essere visibili da un elicottero che vola ad una quota di 200 m, e protette da possibili correnti d'aria che possono compromettere la corretta misurazione del vento. L'ICAO specifica che le maniche a vento dovrebbero essere monocromatiche (bianche o arancioni) oppure a strisce verticali bicolore (bianco e arancione, bianco e rosso, bianco e nero). Anche secondo l'*Heliport Manual*, se si prevedono operazioni notturne, la manica a vento dovrebbe essere illuminata.

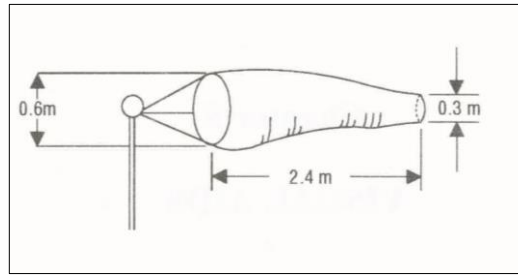


Figura 3.16 – Dimensioni degli indicatori di direzione del vento (elaborazione su Fonte: ICAO *Heliport Manual*)

L'Annesso 14 ICAO è ancora più specifico a riguardo. Esso fornisce le dimensioni minime a seconda che l'infrastruttura sia a livello del suolo o in elevazione. La Tabella 3.6 illustra tali specifiche.

Tabella 3.6 – Dimensioni degli indicatori di direzione del vento (elaborazione su Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

	Eliporti a livello del suolo	Eliporti in elevazione
Lunghezza	2,4 m	1,2 m
Diametro (estremità maggiore)	0,6 m	0,3 m
Diametro (estremità minore)	0,3 m	0,15 m

Come si evince dalla lettura dei capitoli dei documenti ICAO ed FAA dedicati alla segnaletica, nelle infrastrutture eliportuali, al contrario degli aeroporti, non sono previsti segnali verticali ad eccezione di quelli di delimitazione delle air taxiway e delle air transit routes. Questa "assenza" di precisazioni sui segnali verticali è senz'altro giustificata dalla relativa semplicità con la quale sono realizzati i layout degli air-side delle infrastrutture eliportuali rispetto al caso degli aeroporti e dalla forte componente di rischio durante la movimentazione degli elicotteri in prossimità del suolo causata da tali dispositivi.

3.7 Servizi di soccorso e antincendio

L'obiettivo principale dei servizi di soccorso e antincendio è quello di salvare vite umane nel caso di avversità che possano pregiudicare la salute e l'incolumità di coloro che si trovano ad operare o a transitare (come passeggeri) sul sedime eliportuale. Per questo motivo, le attrezzature utilizzate in caso di incidenti più o meno gravi che si verificano su un eliporto o nelle sue immediate vicinanze, assumono grande importanza, poiché è dentro quest'area che si hanno le maggiori probabilità di salvare delle vite. Ciò presuppone che si debba sempre prevedere la possibilità e la necessità di dover spegnere un incendio che può verificarsi sia immediatamente dopo un incidente, sia in ogni altro momento durante le operazioni di soccorso. I fattori più importanti che gravano sull'efficacia di un soccorso in

caso di incidente con possibilità di sopravvivenza sono l'addestramento ricevuto, la validità dell'equipaggiamento e la velocità con la quale il personale e le attrezzature destinate al soccorso e al servizio antincendio sono in grado di intervenire.

L'Annesso 14 raccomanda che il livello di protezione da assicurare per i servizi di soccorso e antincendio sia stabilito in funzione della lunghezza fuori tutto del più lungo elicottero che normalmente utilizza l'eliporto e in accordo con le categorie di servizio antincendio per gli eliporti, così come indicato in Tabella 3.7, eccetto che su un eliporto non presidiato con basso tasso di operatività.

Tabella 3.7 – Categoria antincendio di un eliporto
(elaborazione su Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

Categoria antincendio	OL - Lunghezza fuori tutto dell'elicottero di progetto (m)
H1	< 15 (non compresi)
H2	15 – 24 (non compresi)
H3	24 - 35

L'ICAO afferma inoltre che durante alcune operazioni, preventivamente segnalate, con elicotteri più piccoli, la categoria del servizio antincendio dell'eliporto può essere ridotta a quella dell'elicottero di dimensioni maggiori di cui si prevede l'impiego durante le operazioni citate. Su un eliporto al livello del suolo, l'obiettivo operativo dei servizi di soccorso e antincendio dovrebbe essere quello di ottenere tempi d'intervento non superiori a 2 minuti in ottime condizioni di visibilità e della pavimentazione, considerando come *tempo d'intervento* quello che passa tra il momento in cui avviene la prima segnalazione al servizio di soccorso e antincendio e il momento in cui il primo veicolo si trova in posizione per l'erogazione delle sostanze estinguenti con un tasso di erogazione almeno pari al 50% di quello specificato nella Tabella 3.8. Anche su un eliporto sopraelevato, il servizio di soccorso e antincendio dovrebbe invece essere immediatamente disponibile o trovarsi nelle immediate vicinanze durante le operazioni dei velivoli. La quantità d'acqua stabilita per gli eliporti sopraelevati, non deve essere immagazzinata sull'eliporto o nelle sue adiacenze, se è disponibile un sistema di erogazione di acqua pressurizzata in grado di sostenere il tasso necessario. In un eliporto al livello del suolo è permesso sostituire tutta o parte dell'acqua per la produzione di schiuma con sostanze complementari. Il tasso di erogazione della soluzione schiumosa non dovrebbe essere inferiore ai tassi riportati nella Tabella 3.8. Il tasso di erogazione per sostanze sostitutive dovrebbe essere selezionato in modo tale da ottenere la massima efficacia dalla sostanza utilizzata.

Tabella 3.8 – Quantitativi minimi di estinguenti utilizzabili per categoria di eliporto (elaborazione su Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

Categoria antincendio	Prestazioni di livello B			Agenti complementari					
	Acqua (L)		Portata soluzione schiumogena (L/min)	Polveri chimiche secche (kg)		Halon (kg)		CO ₂ (kg)	
	suolo	elevazione		suolo	elevazione	suolo	elevazione	suolo	elevazione
H1	500	2.500	250	23	45	23	45	45	90
H2	1.000	5.000	500	45	45	45	45	90	90
H3	1.600	8.000	800	90	45	90	45	180	90

In un eliporto sopraelevato, dovrebbe essere fornita almeno una manichetta (spray) di gomma in grado di spruzzare una miscela schiumosa a 250 L/min. Inoltre, sugli eliporti sopraelevati in categoria H2 e H3, dovrebbero essere provvisti almeno due erogatori, ciascuno in grado di garantire il tasso di erogazione richiesto, e situati in punti diversi dell'eliporto in modo da assicurare la distribuzione della schiuma in tutte le zone del sedime, in qualsiasi condizione meteorologica e in grado di ridurre al minimo la possibilità che ambedue gli erogatori vengano danneggiati in seguito ad un incidente.

3.8 Movimentazione degli elicotteri all'interno delle infrastrutture aeroportuali

Gli elicotteri sono in grado di operare in molti aeroporti senza interferire indebitamente con il traffico aereo. Quando il volume del traffico aereo è tale da interferire con le operazioni degli elicotteri potrebbero però essere necessarie infrastrutture separate e procedure di avvicinamento/decollo differenziate. Negli aeroporti che interconnettono il traffico passeggeri dei due modi di trasporto, il terminal dovrebbe fornire adeguati accessi per l'imbarco sugli elicotteri. I passeggeri che utilizzano un elicottero per raggiungere un aeroporto necessitano in genere di accessi comodi al terminal e ai servizi per l'imbarco negli aeromobili. Il *Masterplan* dell'aeroporto (*Airport Layout Plan – ALP*) dovrebbe identificare la localizzazione delle aree ad uso esclusivo degli elicotteri ovvero la TLOF, la FATO, le aree di sicurezza, i sentieri di decollo/avvicinamento e i sentieri di rullaggio per i velivoli ad ala rotante. Il tetto del terminal o degli edifici multipiano adibiti a parcheggio può considerarsi un sito potenziale ove localizzare l'eliporto all'interno dell'area aeroportuale. Secondo la circolare AC-2C, la TLOF dovrebbe essere localizzata e designata per fornire un accesso rapido al terminal aeroportuale. La distanza raccomandata dalla FAA tra l'asse della pista di volo e l'asse di una FATO per operazioni simultanee nella stessa direzione in VFR è fornita nella Tabella 3.9.

Tabella 3.9 – Distanze tra gli assi centrali della pista di volo e della FATO
(elaborazione su Fonte: FAA AC 150/5390-2C)

Dimensione dell'aeromobile di progetto	Dimensione dell'elicottero di progetto		
	Elicottero leggero (fino a 6.000 libbre)	Elicottero medio (da 6.001 a 12.000 libbre)	Elicottero pesante (oltre 12.000 libbre)
Aeromobile leggero (fino a 12.500 libbre)	91 m	152 m	213 m
Aeromobile leggero (da 12.000 a 300.000 libbre)	152 m	152 m	213 m
Aeromobile leggero (oltre 300.000 libbre)	213 m	213 m	213 m

Per quanto riguarda le dimensioni ed i franchi della *safety area*, valgono le prescrizioni della circolare citate in precedenza. Per quanto possibile, i sentieri di avvicinamento/decollo per gli elicotteri dovrebbero essere indipendenti da quelli che interessano una pista attiva. Quando in un aeroporto sono predisposte vie di rullaggio *ad hoc* per gli elicotteri, queste dovrebbero essere localizzate in modo tale da minimizzare l'interazione con le operazioni degli aeromobili. L'Annesso 14 ICAO fissa la distanza tra i bordi della FATO e quelli della pista di volo in funzione delle masse dell'elicottero e dell'aeromobile di progetto, così come indicato nella Tabella 3.10.

Tabella 3.10 – Distanze minime di separazione per una FATO
(elaborazione su Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

Massa dell'aeroplano e/o dell'elicottero di progetto	Distanza tra il bordo della FATO e quello della pista di volo o di rullaggio
Fino a ma non inclusi 3.175 kg	60 m
Da 3.175 kg fino a ma non inclusi 5.760 kg	120 m
Da 5.760 kg fino a ma non inclusi 100.000 kg	180 m
Da 100.000 kg ed oltre	250 m

Secondo l'ICAO, inoltre, una FATO non dovrebbe mai trovarsi vicino all'intersezione di due piste di rullaggio o di punti d'attesa, dove il getto dei motori a reazione potrebbe creare turbolenza o vicino alle aree dove è possibile la creazione di vortici dovuta all'attività di aeromobili ad ala fissa.

3.9 Superfici di delimitazione degli ostacoli

Lo scopo delle superfici di delimitazione degli ostacoli è quello di fornire uno spazio aereo intorno all'eliporto, da mantenere libero da ostacoli in modo tale da consentire agli elicotteri di operare in tutta sicurezza ed assicurare che l'infrastruttura risulti non utilizzabile per l'insorgere di nuovi ostacoli in prossimità di essa. Ciò è possibile definendo delle superfici "immaginarie" che delimitano gli ostacoli. Verrà esaminata dapprima la circolare FAA AC-2C ed in seguito verranno presentate le prescrizioni dell'Annesso 14 Vol. II. Lo scopo

dello spazio aereo di avvicinamento/decollo, mostrato in Figura 3.17, è quello di fornire una zona libera da ostacoli per garantire la *safety* delle operazioni di decollo e avvicinamento da e verso la TLOF. I sentieri di decollo/avvicinamento dovrebbero essere allineati con la direzione del vento predominante in modo tale da evitare manovre sottovento e minimizzare le operazioni con vento al traverso. Per ottenere ciò, la FAA raccomanda che un eliporto abbia più di un sentiero di decollo/avvicinamento. Gli altri sentieri di decollo/avvicinamento dovrebbero essere progettati previa attenta valutazione dei venti prevalenti o, nel caso in cui questa informazione non sia facilmente ottenibile, la separazione tra questi sentieri di volo e il sentiero principale dovrebbe essere almeno di 135°. Le Figure 3.17 e 3.18 illustrano le superfici di avvicinamento/decollo e di transizione.

Una superficie di avvicinamento/decollo è centrata su ogni sentiero di avvicinamento/decollo. Il sentiero di avvicinamento/decollo si diparte dal margine della FATO e si estende verso l'alto con una pendenza di 8:1 per una distanza di 1.219 m in corrispondenza della quale la larghezza della superficie relativa è pari a 152 m ad una elevazione di 152 m al di sopra della quota dell'eliporto. Le superfici di transizione si dipartono dai margini della FATO parallelamente all'asse centrale del sentiero di volo e dai margini esterni della superficie di avvicinamento/decollo, e si estendono al di fuori con una pendenza di 2:1 per una distanza di 76 m dalla linea centrale. Le superfici di transizione si estendono fino al termine della superficie di avvicinamento/decollo. La superficie di transizione non si applica al margine della FATO posto di fronte alla superficie di avvicinamento/decollo.

La FAA raccomanda che le superfici di transizione e di avvicinamento/decollo non siano forate da alcun oggetto, salvo che uno studio aeronautico della stessa FAA determini che tali penetrazioni non costituiscano un rischio per la sicurezza delle operazioni. Gli studi aeronautici sono condotti esclusivamente negli eliporti pubblici e privati con procedure di avvicinamento approvate dalla FAA. I sentieri di decollo e avvicinamento in VFR possono includere un segmento curvilineo e possono interessare lo spazio aereo al di sopra del suolo pubblico, di autostrade o fiumi. Ad ogni modo, la progettazione dei sentieri di avvicinamento/decollo deve tenere in considerazione le *performance* degli elicotteri che utilizzeranno l'infrastruttura.

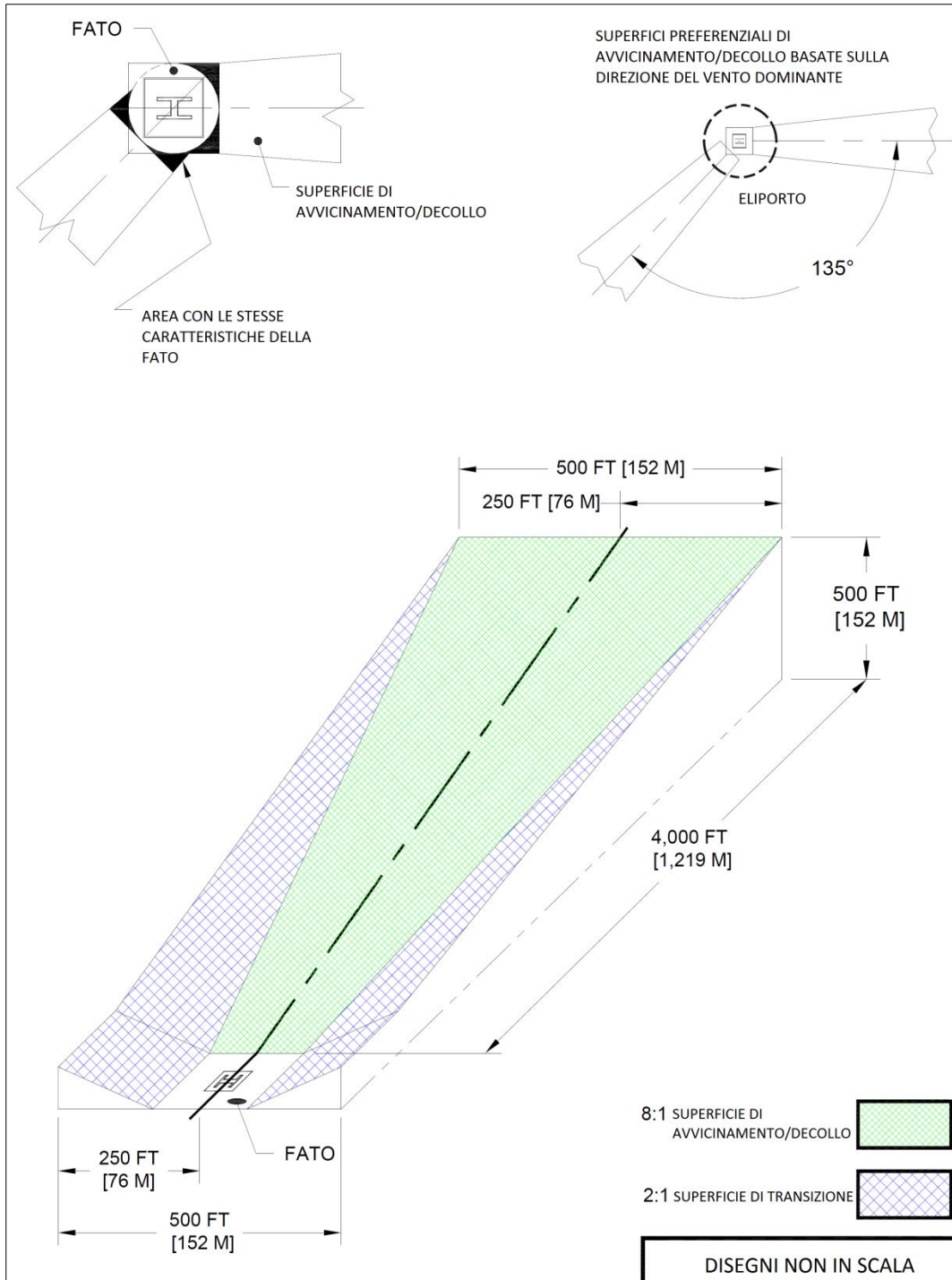


Figura 3.17 – Superfici di avvicinamento/decollo e di transizione (elaborazione su Fonte: FAA AC 150/5390-2C)

Quando è previsto un tratto curvilineo nel sentiero di avvicinamento/decollo, la somma del raggio riferito all'asse curvilineo che definisce la curva e della lunghezza del tratto rettilineo che si diparte dalla FATO non deve essere minore di 575 m. Il raggio minimo della curva deve essere pari a 270 m, seguito da un tratto rettilineo di 305 m. La somma della

lunghezza del tratto curvilineo misurato lungo l'asse e della lunghezza del tratto rettilineo deve essere 1.219 m (vedi Figura 3.18).

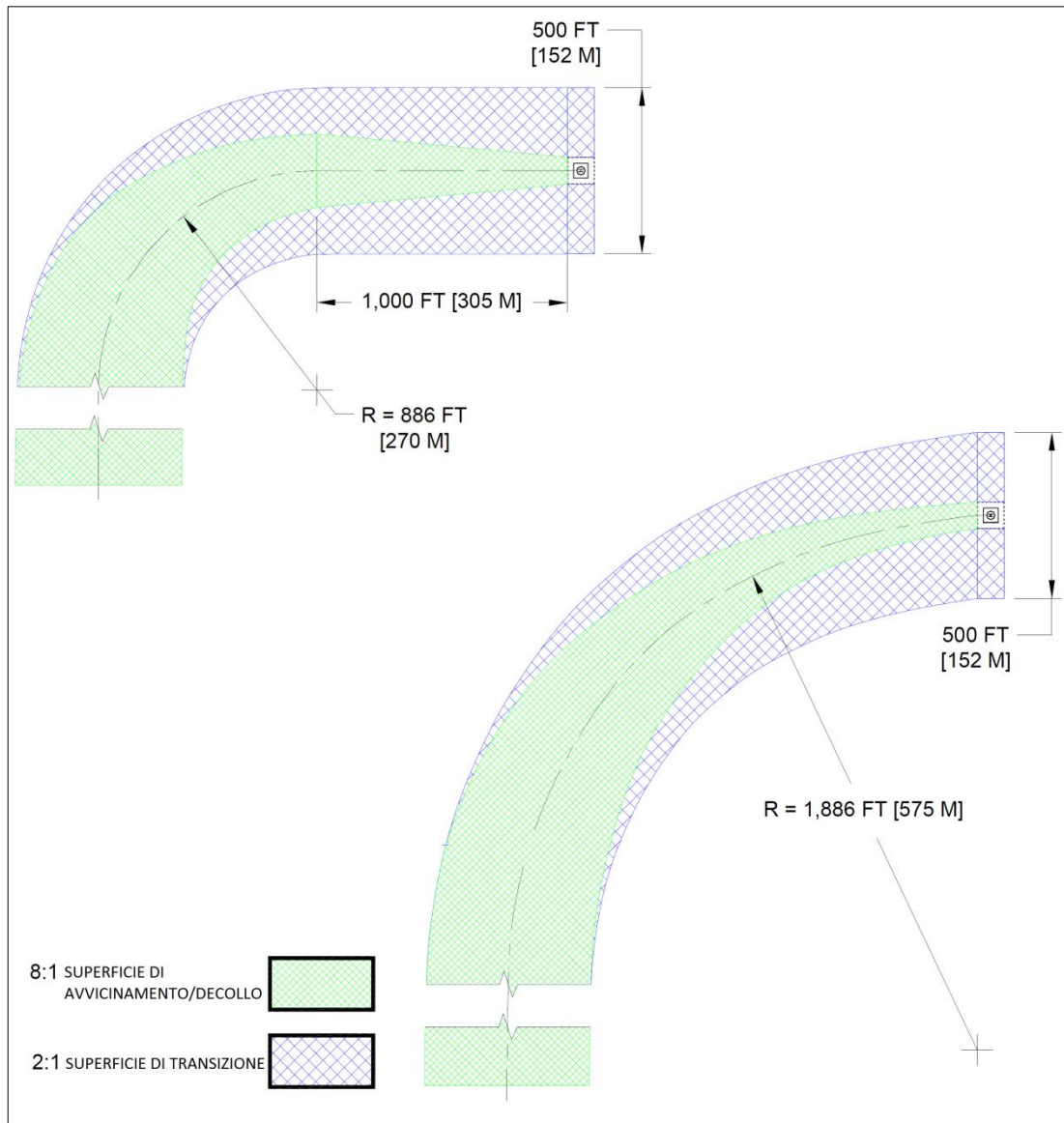


Figura 3.18 – Superfici di avvicinamento/decollo e di transizione curvilinee (elaborazione su Fonte: FAA AC 150/5390-2C)

Possono utilizzarsi segnali orizzontali e luminosi opzionali come guida per l'allineamento sul sentiero di volo, ove questo è praticabile e facilmente realizzabile, al fine di indicare le direzioni dei sentieri di avvicinamento/decollo disponibili.

Il gestore dell'eliporto dovrebbe tenere aggiornata una lista di coordinate GPS delle quote dei picchi degli ostacoli presenti nelle vicinanze dell'infrastruttura e dei relativi sentieri di avvicinamento e decollo. Dovrebbe prestarsi particolare attenzione agli ostacoli che necessitano di essere segnalati o illuminati. I gestori eliportuali dovrebbero riesaminare gli ostacoli presenti nelle vicinanze dei sentieri di avvicinamento/decollo almeno una volta l'anno.

Questa rivisitazione dovrebbe includere la valutazione della crescita degli alberi nelle vicinanze dei sentieri di volo.

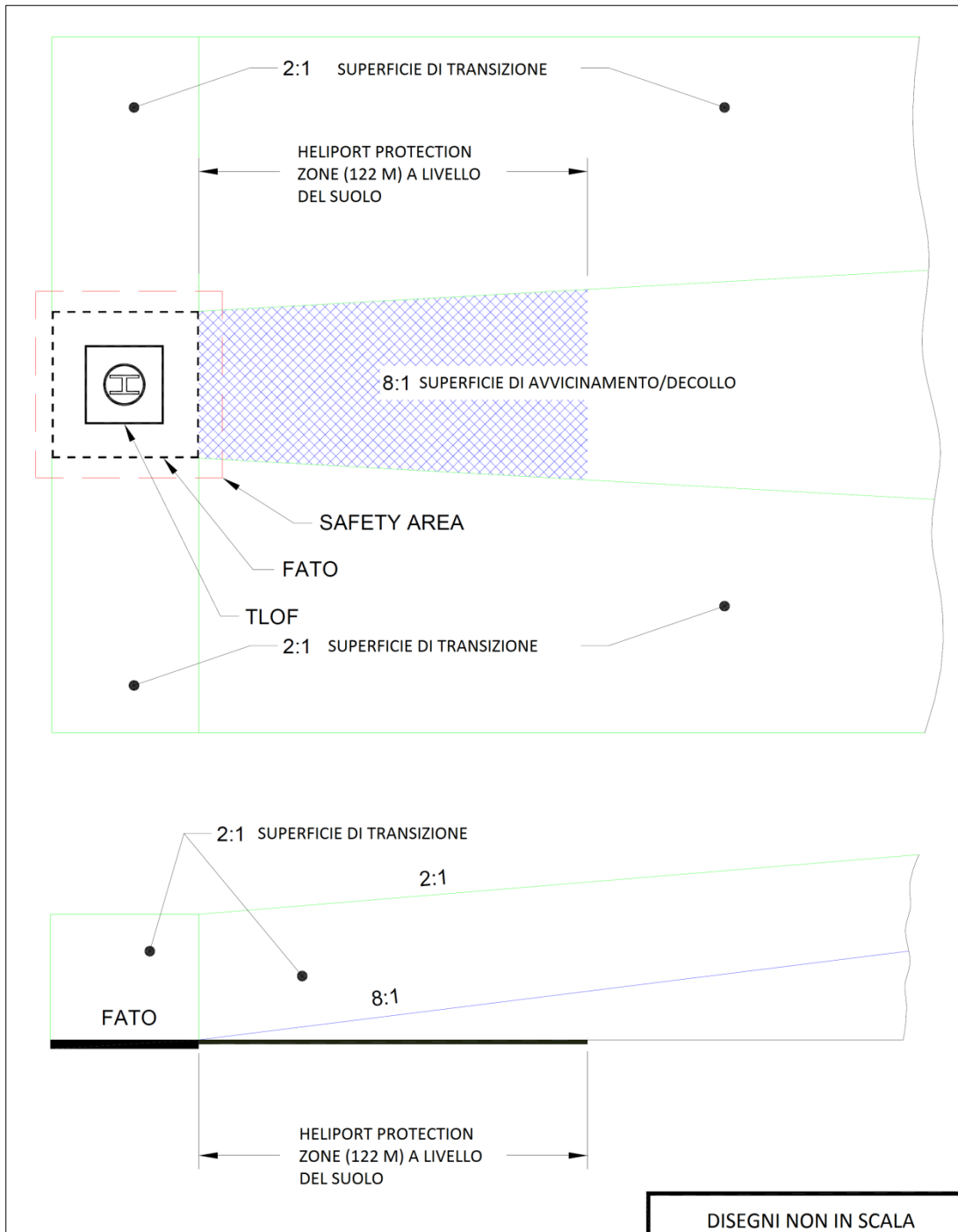


Figura 3.19 – Zona di Protezione dell'Eliporto (HPZ – *Heliport Protection Zone*)
(elaborazione su Fonte: FAA AC 150/5390-2C)

La FAA raccomanda inoltre una Zona di Protezione dell'Eliporto (HPZ - *Heliport Protection Zone*) per ogni superficie di avvicinamento decollo. La HPZ è l'area al di sotto della superficie di avvicinamento/decollo che si diparte dal perimetro della FATO e si estende al di fuori di essa per 122 m, così come illustrato in Figura 3.19. La HPZ è atta ad incremen-

tare il livello di protezione delle persone che si trovano sulla superficie. Questa si ottiene attraverso il controllo, da parte del gestore dell'eliporto sulla HPZ, il quale contempla l'esclusione e l'allontanamento di oggetti incompatibili sull'area stessa. La pianificazione territoriale deve essere volta a disincentivare l'utilizzo della HPZ come zona residenziale o adibita a spazio pubblico (chiese, scuole, ospedali, uffici, centri commerciali, e altri usi simili). Inoltre, le infrastrutture per il rifornimento di combustibile non dovrebbero essere localizzate all'interno della HPZ.

L'Annesso 14 si pronuncia in modo differente in merito alle superfici di delimitazione degli ostacoli. In primo luogo, differenzia la superficie di avvicinamento da quella di salita al decollo descrivendole rispettivamente come "una combinazione di piani inclinati verso l'alto che si dipartono dalla fine della *safety area* e sono centrati su una linea passante per il centro della FATO" ed "una combinazione di piani inclinati o, nel caso in cui si prevede un tratto curvilineo, una superficie complessa inclinata verso l'alto che si diparte dalla fine della *safety area* ed è centrata su una linea passante per il centro della FATO". La superficie di transizione conserva lo stesso scopo espresso nella circolare FAA mentre sono definite due superfici, orizzontale interna e di transizione, di "origine aeroportuale" (Figura 3.20). L'Annesso 14 definisce le specifiche dimensionali e geometriche delle superfici in funzione della segnaletica della FATO (non strumentale, strumentale non di precisione, strumentale di precisione) ed in funzione della classe di prestazioni dell'elicottero. Inoltre sono definite due superfici specifiche per gli eliporti su piattaforme ossia la superficie di delimitazione del settore libero da ostacoli e la "*limited obstacle surface*". I requisiti di tutte le superfici sono stabiliti sulla base della previsione d'uso della FATO ovvero se si intende utilizzarla per manovre di avvicinamento per poi proseguire in *hover-taxi* o per l'atterraggio e il decollo, ed il tipo di avvicinamento. Nel caso in cui si prevedono operazioni da o verso le due direzioni della FATO (entrambi i lati) i requisiti dimensionali di una determinata superficie possono modificarsi ed acquisire le caratteristiche, più stringenti, di un'altra superficie posta ad una quota più bassa. La Tabella 3.11 mostra le superfici di delimitazione degli ostacoli raccomandate dall'Annesso 14 per le differenti tipologie di FATO.

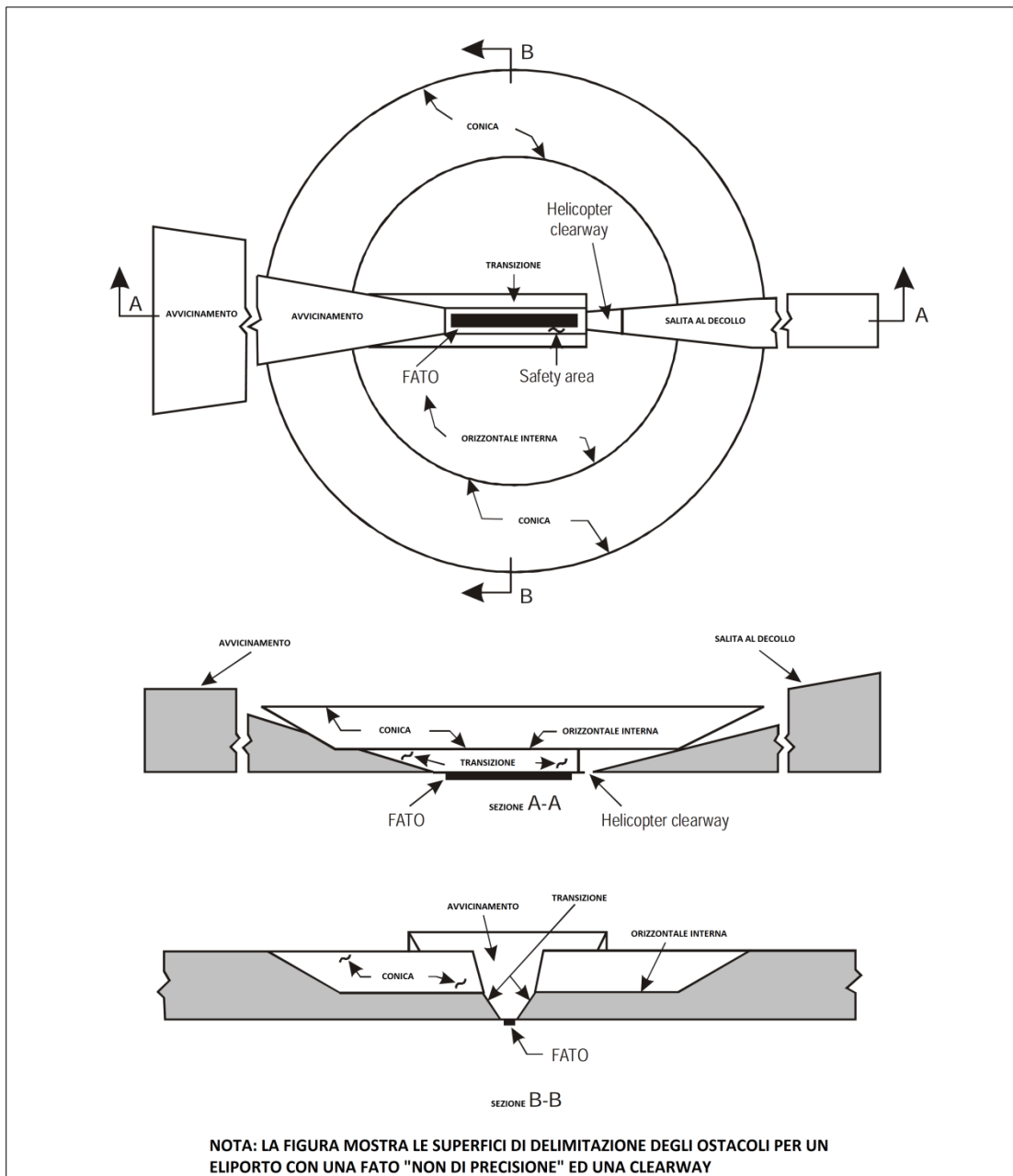


Figura 3.20 – Superfici di delimitazione ostacoli
(elaborazione su Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

L'Annesso raccomanda che un eliporto a livello del suolo abbia almeno due superfici di salita al decollo e avvicinamento, separate da un angolo non inferiore a 150°. Il numero e l'orientamento delle superfici di avvicinamento e decollo dovrebbe comunque essere tale da produrre un fattore di utilizzazione pari almeno al 95%, per gli elicotteri che l'eliporto è destinato a servire.

Tabella 3.11 – Superfici di delimitazione degli ostacoli
(elaborazione su Fonte: ICAO Annesso 14 Vol. II)

	FATO non strumentale	FATO strumentale non di precisione	FATO strumentale di precisione
Superficie di salita al decollo	✓	✓	✓
Superficie di avvicinamento	✓	✓	✓
Superfici di transizione	✗	✓	✓
Superficie conica	✗	✓ (solo se la Superficie orizzontale interna non è prevista)	✓
Superficie orizzontale interna	✗	✓ (raccomandata)	✗

I sottogruppi dell'ICAO stanno tuttavia lavorando alla redazione di una nuova “Tranche” dell'Annesso 14 che includerà modifiche sostanziali allo spazio aereo che circonda gli eliporti. E' stato già stabilito che i requisiti dimensionali delle superfici di delimitazione ostacoli per manovre di avvicinamento non strumentali e strumentali, ad oggi definiti separatamente per il decollo e l'avvicinamento, verranno specificati per un singolo set di superfici, valevoli sia per il decollo che per l'avvicinamento. Verranno definite, in particolare, tre superfici di avvicinamento/decollo:

- Superficie di tipo A: un tratto ad unica pendenza del 4,5%, di lunghezza totale definita dalla distanza necessaria a raggiungere una quota di 152 m (lunghezza totale di 3.385 m per eliporti a livello del suolo);
- Superficie di tipo B: due tratti con pendenze rispettivamente dell'8% fino ad una distanza di 245 m e del 16% per i restanti 830 m (lunghezza totale 1.75 m);
- Superficie di tipo C: un tratto ad unica pendenza del 12,5% (lunghezza totale 1.220 m).

Le tre superfici vanno rispettivamente previste per i requisiti di prestazioni degli elicotteri. Dunque, la superficie di tipo A verrà prevista per eliporti in grado di accogliere velivoli operanti in classe 1, la superficie di tipo B per la classe 2 e quella di tipo C per la classe 3. La superficie di tipo A è inoltre considerata una “*Obstacle Identification Surface (OIS)*” e quindi una superficie che può essere “forata” previa valutazione aeronautica dei rischi associati e delle misure di prevenzione dei danni. Le superfici B e C sono invece considerate “*Obstacle Limitation Surface (OLS)*” ossia superfici non penetrabili da alcun oggetto o edificio.

3.10 Capacità dell'apron in relazione alla domanda di trasporto

In questo paragrafo sono analizzate le relazioni che intercorrono tra la domanda di trasporto in termini di numero di passeggeri annuali, ed il numero di piazzole di sosta presenti sull'apron, necessarie a soddisfare tale domanda, al variare di alcuni parametri di esercizio dell'infrastruttura eliportuale quali ad esempio il tempo di stazionamento medio dell'elicottero sul piazzale, l'operatività dello scalo (stagionalità, ore di operatività al giorno etc.) ed in particolare la composizione della flotta che utilizzerà l'infrastruttura.

Le simulazioni sono state eseguite tenendo conto delle relazioni analitiche sulla capacità dell'apron aeroportuale più frequentemente citate nella letteratura scientifica di riferimento e "riadattate" in questa sede al caso degli eliporti con le dovute considerazioni.

La capacità di uno stand di sosta può essere definita come il numero massimo di elicotteri che quella tipologia di stand può servire in un intervallo di tempo specifico, se si ipotizza una domanda continua di imbarchi/sbarchi. La capacità può essere calcolata come l'inverso della media ponderata del tempo di occupazione dello stand, da parte di tutti i velivoli che quello stand servirà nell'unità oraria. Banalmente, se un elicottero occupa uno stand per un tempo medio di 30 minuti, la capacità dello stesso è di due velivoli all'ora.

Più in generale, i fattori che influenzano la capacità dell'apron sono i seguenti:

- il numero e le tipologie di stand disponibili per i velivoli;
- la composizione della flotta che usufruirà degli stand;
- il tempo di occupazione dello stand, che tiene conto del tempo necessario per manovrare gli elicotteri da e verso lo stand e l'eventuale ritardo del velivolo, fattori che spesso limitano la quantità di tempo effettivamente disponibile in cui lo stand di sosta viene occupato;
- le restrizioni nell'uso di uno o di tutti gli stand e dunque, il fattore di utilizzazione dello stand.

Gli stand di un eliporto sono progettati per accogliere elicotteri leggeri, medi e pesanti in funzione del diametro del rotore principale e della lunghezza fuori tutto dell'elicottero critico. L'analisi sulle tipologie infrastrutturali degli eliporti condotta nei capitoli precedenti ha evidenziato come alcuni eliporti constano di apron complessi, progettati con diverse tipologie di stand per far fronte alla contemporanea domanda di traffico di diverse tipologie di elicotteri (ad esempio nel caso di Tokyo), mentre altri sono costituiti da stand delle stesse dimensioni e della stessa tipologia ed altri ancora constano di uno stand collocato all'interno della (o delle) TLOF, per cui non vi è la necessità di effettuare le operazioni di

rullaggio o comunque di movimentazione al suolo (ad esempio il caso di Monaco). Evidentemente la tipologia di apron da progettare e il numero di piazzole da prevedere sono frutto di un'attenta analisi previsionale della domanda di trasporto. Ovviamente, rispetto al caso aeroportuale, il dimensionamento di un apron eliportuale è di più semplice realizzazione proprio per l'entità della domanda di traffico che caratterizza questa modalità di trasporto, per le dimensioni dei mezzi, per i tempi richiesti per la movimentazione di questi velivoli, dovuti alla differente flessibilità che caratterizza la loro manovrabilità. Rispetto al caso degli aeroporti è dunque molto difficile osservare fenomeni di congestione all'interno degli eliporti.

La composizione della flotta che utilizzerà l'infrastruttura è interessante principalmente con riguardo alle dimensioni, ma anche per il calcolo del tempo di occupazione dello stand. Al crescere delle dimensioni dell'elicottero e/o del numero di posti disponibili all'interno dello stesso cresceranno verosimilmente anche i tempi di imbarco/sbarco dei passeggeri e di eventuale carico/scarico delle merci nonché le dimensioni dello stand. La somma del tempo speso durante le manovre di egresso/ingresso da/verso lo stand e del tempo netto di occupazione dello stand può non essere pari al 100% del tempo totale di occupazione dello stand. Se quest'ultimo comprende il tempo di manovra del velivolo per posizionarlo nello stand stesso, così come quello necessario per l'imbarco e lo sbarco dei passeggeri, per rifornirlo di carburante e per effettuare un controllo sommario sulle parti meccaniche ed altri servizi di routine, il suo utilizzo si avvicinerà al 100%. I tempi di occupazione dello stand previsti dai produttori dei velivoli sono di solito indicati nelle pubblicazioni, ma questo può variare in base alla compagnia elicotteristica ed alle procedure operative attuate nei diversi scali. Spesso il ritardo dei velivoli in arrivo e/o partenza si tradurrà in periodo di occupazione maggiore di quanto normalmente richiesto.

3.10.1 Modelli analitici per la determinazione della capacità dell'apron

L'analisi della capacità dell'apron si fonda sul principio che il tempo richiesto per lo stazionamento dei velivoli in uno stand sia minore o uguale al tempo disponibile "offerto" dallo stand per quella stessa tipologia di velivoli. Sono stati sviluppati diversi modelli analitici per la determinazione della capacità dello stand di un scalo. Si riportano qui due modelli, entrambi proposti da R. Horonjeff per il caso aeroportuale e "riadattati" al caso eliportuale:

- utilizzazione dello stand "non vincolata". Si assume che tutti i velivoli possano utilizzare tutti gli stand disponibili nell'eliporto;

- utilizzazione dello stand “vincolata”. Si assume che alcune piazzole siano in grado di accogliere solamente alcune tipologie di velivoli.

Nel primo caso, ove non vi sono limitazioni nell’uso degli stand, la capacità dello stesso (C_g) può essere ricavata assumendo che il tempo di occupazione “offerto” dallo stand sia non inferiore al tempo di occupazione richiesto dall’elicottero:

$$\mu_k N_k \geq E(T_g) C_g$$

$$\mu_k N_k \geq C_g \sum m_i T_{gi}$$

dove μ_k è il fattore di utilizzazione dello stand, o la frazione di un’ora (in percentuale) in cui la classe di stand di tipo k può essere usata dall’elicottero di tipo i , N_k è il numero di stand di tipo s per la classe di tipo k disponibili per l’elicottero di tipo i , $E(T_g)$ è il valore atteso del tempo di occupazione dello stand richiesto per l’elicottero che può usare la classe di stand di tipo k , C_g è la capacità della classe di stand di tipo k in elicotteri/ora.

Il valore atteso del tempo di occupazione dello stand richiesto per l’elicottero che può usare lo stand di tipo k si trova con la seguente espressione:

$$E(T_g) = \sum m_i T_{gi}$$

dove m_i è la percentuale di elicotteri di tipo i che utilizza gli stand, T_{gi} è il tempo di occupazione dello stand richiesto dall’elicottero di tipo i .

Nel secondo caso, ossia quello di utilizzazione non vincolata, il mix di stand e la composizione della flotta di elicotteri che utilizzano lo scalo possono non essere gli stessi. Pertanto, è necessario ricavare dapprima la capacità di ciascun tipo di stand e quindi determinare la capacità globale dell’eliporto in base alle capacità delle singole piazzole, intesa come la minima capacità di qualsiasi tipo di stand. Matematicamente, questo diventa:

$$C_g = \min(C_{gk})$$

A titolo di esempio, si abbia il caso in cui un eliporto disponga di quattro stand a servizio di tutti gli elicotteri e che il mix di velivoli presenti nell’eliporto nell’ora di punta sia costituito dal 30% di velivoli di tipo A (pesante), 50% di tipo B (medio) e 20% di tipo C (leggero). Il tipo A richiede un tempo di occupazione dello stand di 60 minuti, il tipo B richiede 45 minuti ed il tipo C richiede 30 minuti ed a causa della distribuzione della domanda, l’utilizzo massimo dello stand previsto è del 70%. Si ricava facilmente una capacità $C_g = 3,6$ elicotteri/h.

Si deve osservare che poiché ogni velivolo presente sullo stand implica due operazioni, un arrivo ed una partenza, la capacità oraria dello stand potrebbe anche essere espressa come

7,2 operazioni all'ora. Si nota che se il fattore di utilizzazione dello stand è uguale ad 1, allora la capacità ultima dello stesso risulta essere uguale a 5,2 elicotteri all'ora.

Si supponga adesso che un eliporto sia dotato di 10 stand disponibili per gli elicotteri, strutturati in base alla tipologia di elicotteri che utilizzeranno l'infrastruttura: i 5 stand di tipo I possono ospitare qualsiasi tipo di velivolo, i 3 stand di tipo II non possono ospitare i velivoli di tipo A ed uno stand di tipo III può accogliere solamente velivoli di tipo C. Si dispone di 5 stand per velivoli di tipo A, di 8 stand per velivoli di tipo B e di 10 stand per velivoli di tipo C.

Il mix e i tempi di occupazione degli stand dell'elicottero che utilizza lo scalo nell'ora di punta sono gli stessi dell'esempio precedente. Il fattore di utilizzazione dello stand è pari a 1.

Per determinare la capacità dell'apron, l'equazione sopra riportata deve essere risolta per ogni tipologia di stand. Risolvendo l'espressione si ottiene per gli stand di tipo I una capacità di 16,67 velivoli/h, per gli stand di tipo II una capacità di 11,85 velivoli/h e per gli stand di tipo III una capacità di 12,90 velivoli/h.

Pertanto, la tipologia II dello stand (che risulta essere pari a 11,9 velivoli/h) può limitare la capacità globale dell'eliporto, fornita dall'equazione. Ciò significa che lo stand più restrittivo è quello di tipo II, e questo rappresenta un "collo di bottiglia" per l'eliporto.

Pertanto con questa flotta di elicotteri che richiedono l'utilizzo degli stand dell'eliporto, il mix di stand presenti nella "apron" limita la capacità dell'eliporto a 11,9 velivoli/h, ovvero 23,8 operazioni/h.

3.10.2 Influenza dei parametri di esercizio sulla capacità dell'apron

I parametri di esercizio degli eliporti e la relativa previsione del traffico che interesserà lo scalo influenzano fortemente la progettazione degli spazi da destinare allo stazionamento degli elicotteri.

In particolare, tali parametri sono identificabili nei seguenti:

- Schedulazione dei servizi (distribuzione temporale dei voli);
- Orario di operatività dell'eliporto (ore, giorni, mesi di funzionamento);
- Tempi di stazionamento degli elicotteri negli stand;
- Utilizzazione dello stand;
- Restrizioni dimensionali degli stand per categoria di elicottero.

E' interessante, dal punto di vista della progettazione infrastrutturale, osservare le relazioni che intercorrono tra il numero di passeggeri che l'eliporto può ospitare in un determinato

intervallo di tempo, la tipologia dei velivoli, il tempo di stazionamento e l'utilizzazione degli stand. E' semplice ricavare, dalle relazioni sulla capacità precedentemente riportate, l'andamento delle curve che indicano la relazione tra il tempo di stazionamento dell'elicottero nella piazzola ed il numero di passeggeri annui "trasportabili" al variare del numero di stand, ovviamente ipotizzando dei parametri che regolano il servizio, nel caso di utilizzazione non vincolata degli stand (ore, mesi, giorni e capacità dell'elicottero). La Figura 3.21 mostra tali curve nell'ipotesi di un servizio espletato con un elicottero da 10 posti nel caso di funzionamento dello scalo per 8 ore al giorno, 25 giorni al mese e 6 mesi di operatività all'anno.

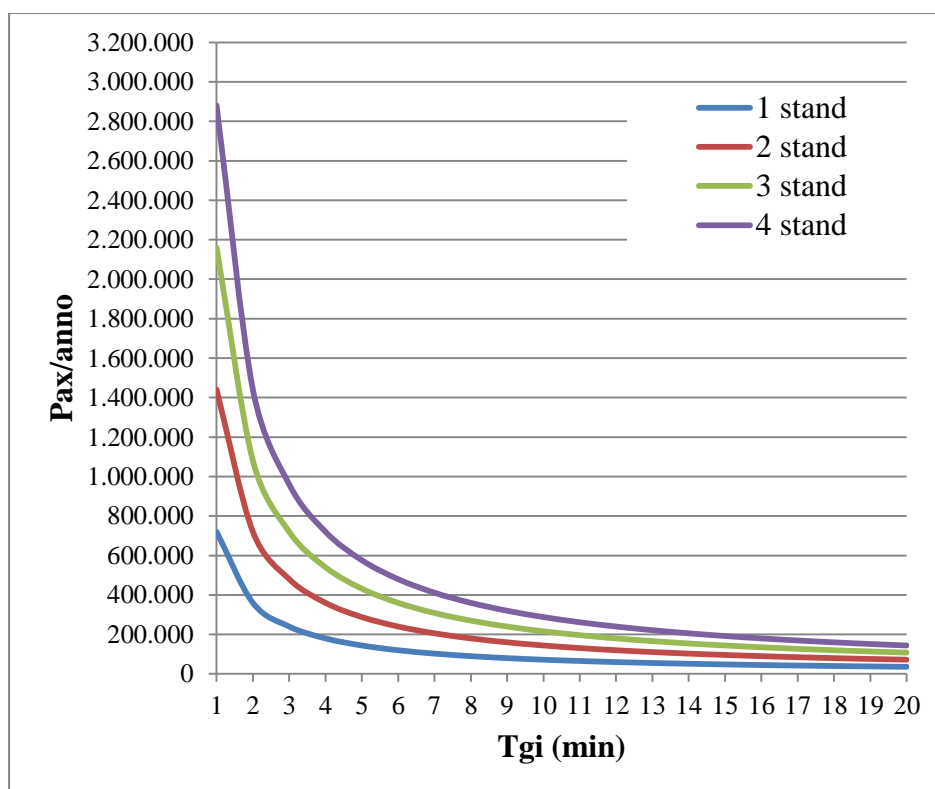


Figura 3.21 – Relazione tra tempo di stazionamento e traffico annuale

A titolo di esempio sono state eseguite diverse simulazioni al variare del numero di piazzole e del tempo di stazionamento ipotizzando un limite superiore di 4 stand per l'intero apron, nel caso di utilizzazione di elicotteri da 10 e 15 posti. La Tabella 3.12 mostra i risultati ottenuti: sono stati individuati tre valori "soglia" per il volume di traffico che può interessare un'infrastruttura eliportuale. In particolare, sono stati indicati in verde, giallo e rosso le coppie di parametri T_g -numero di stand che consentono di ottenere volumi di traffico rispettivamente fino a 100.000, 250.000 e oltre 250.000 passeggeri/anno.

Tabella 3.12 – Esito delle simulazioni effettuate sulla capacità dell’apron

T_g (min)	Pax/anno							
	10 Pax/elicottero				15 Pax/elicottero			
	1 stand	2 stand	3 stand	4 stand	1 stand	2 stand	3 stand	4 stand
1	720.000	1.440.000	2.160.000	2.880.000	1.080.000	2.160.000	3.240.000	4.320.000
2	360.000	720.000	1.080.000	1.440.000	540.000	1.080.000	1.620.000	2.160.000
3	240.000	480.000	720.000	960.000	360.000	720.000	1.080.000	1.440.000
4	180.000	360.000	540.000	720.000	270.000	540.000	810.000	1.080.000
5	144.000	288.000	432.000	576.000	216.000	432.000	648.000	864.000
6	120.000	240.000	360.000	480.000	180.000	360.000	540.000	720.000
7	102.857	205.714	308.571	411.429	154.286	308.571	462.857	617.143
8	90.000	180.000	270.000	360.000	135.000	270.000	405.000	540.000
9	80.000	160.000	240.000	320.000	120.000	240.000	360.000	480.000
10	72.000	144.000	216.000	288.000	108.000	216.000	324.000	432.000
11	65.455	130.909	196.364	261.818	98.182	196.364	294.545	392.727
12	60.000	120.000	180.000	240.000	90.000	180.000	270.000	360.000
13	55.385	110.769	166.154	221.538	83.077	166.154	249.231	332.308
14	51.429	102.857	154.286	205.714	77.143	154.286	231.429	308.571
15	48.000	96.000	144.000	192.000	72.000	144.000	216.000	288.000
16	45.000	90.000	135.000	180.000	67.500	135.000	202.500	270.000
17	42.353	84.706	127.059	169.412	63.529	127.059	190.588	254.118
18	40.000	80.000	120.000	160.000	60.000	120.000	180.000	240.000
19	37.895	75.789	113.684	151.579	56.842	113.684	170.526	227.368
20	36.000	72.000	108.000	144.000	54.000	108.000	162.000	216.000

Evidentemente le curve del grafico in Figura 3.21 vanno lette a partire da valori di T_g pari a 5 minuti, rappresentanti verosimilmente i tempi di stazionamento minimi per imbarcare e sbarcare i passeggeri dal velivolo e per effettuare tutte le operazioni di *handling*. Pertanto, nella simulazione presentata, si otterrebbe un valore massimo di 400.000 passeggeri/anno, che crescerebbe ovviamente nel caso in cui si preveda di espletare il servizio con velivoli di capacità pari a 15 posti.

E' da sottolineare che la simulazione effettuata ha lo scopo di evidenziare gli effetti della variazione dei parametri sulla capacità. Nei casi reali, la strategia di utilizzazione dello stand è spesso non vincolata. Pertanto è necessario ipotizzare una flotta in funzione del traffico che si intende servire e dunque un mix di elicotteri ed una differenziazione razionale delle tipologie di stand sull’apron. Dalla sperimentazione effettuata, si evince una netta differenza nell’utilizzazione di un apron eliportuale rispetto al caso aeroportuale. In particolare, la riduzione dei tempi di trasbordo dei passeggeri e delle operazioni annesse, unitamente alla manovrabilità intrinseca dell’elicottero, favorisce la fluidificazione dei movimenti dei mezzi a decollo verticale sull’apron, apportando un contributo significativo al decongestionamento di quest’area in tempi rapidi e senza l’ausilio di ulteriori mezzi.

3.11 Comparazione delle normative ICAO e FAA in materia di progettazione del land-side e dell'air-side eliportuale

A conclusione di questo capitolo, si vogliono mostrare i risultati di una simulazione effettuata al fine di mettere in luce le differenze nelle restrizioni normative statunitensi ed internazionali in materia di progettazione delle superfici degli spazi del land-side e dell'air-side di un eliporto. L'analisi è stata condotta facendo riferimento alle due macroaree del sedime, prese in considerazione separatamente. Il dimensionamento dell'air-side è stato effettuato in riferimento all'elicottero di progetto, mentre per il land-side il parametro progettuale è il numero di passeggeri che l'eliporto movimenterà in un dato intervallo temporale. Si è scelto di prendere in considerazione eliporti per servizi di trasporto aereo localizzati al livello del suolo.

3.11.1 Dimensionamento dell'air-side eliportuale

Per la determinazione dell'estensione dell'air-side, si è fatto riferimento a tre modelli di elicottero di progetto rispettivamente leggero, medio e pesante. Secondo il database presente nell'appendice della circolare AC 150/5390-2C, inerente alle caratteristiche tecniche della quasi totalità di elicotteri allestiti per il trasporto pubblico passeggeri, sono stati scelti i seguenti elicotteri:

- Eurocopter AS-355 TWIN STAR (leggero);
- Bell 412 EP/SP/HP (medio);
- Sikorsky S 61/H3 (pesante).

La Tabella 3.13 riassume le dimensioni e le caratteristiche tecniche dei tre modelli. Il dimensionamento dell'air-side è stato condotto con riferimento alla circolare FAA AC 150/5390-2C ed alla normativa ICAO in materia, in particolare all'Annesso 14 Vol. II e all'*Heliport Manual*. Le Tabelle 3.14 e 3.15 mostrano i risultati del dimensionamento degli spazi calcolati rispettivamente con riferimento alle normative FAA e ICAO. È bene chiarire che le normative, in particolar modo quella internazionale, definiscono i valori delle dimensioni minime da assegnare agli spazi, lasciando al progettista la libertà di incrementare tali valori a secondo delle esigenze operative, di sicurezza e secondo criteri di economia. Ipotizzando un layout di base dell'air-side composto da 4 stand, una FATO ed una TLOF, è stato possibile dimensionare gli spazi in virtù dei valori precedentemente calcolati, per i tre elicotteri di progetto, in modo da ricavare l'entità dell'intera superficie air-side, a parità di numero di piazzole, in funzione della tipologia di elicottero, secondo le due normative principali che definiscono i criteri di progettazione (Tabella 3.16). Un ulteriore

confronto è stato poi effettuato in relazione alle dimensioni delle singoli parti che compongono l'air-side (Tabella 3.17).

Tabella 3.13 – Parametri caratteristici dei 3 elicotteri di progetto

	Elicottero di progetto:	S 61/H3	Bell 412	AS-355
	Peso massimo al decollo (Maximum TakeOff Weight - MTOW) [Kg]	9979	5398	2600
	Lunghezza fuori tutto (Overall Length - OL) [m]	22,19	17,13	12,95
	Altezza fuori tutto (Overall Height - OH) [m]	5,79	4,54	3,02
Rotore principale	Diametro del rotore principale (Rotor Diameter - RD) [m]	18,90	14,02	10,94
	Numero di pale del rotore principale	5	4	3
	Ground Clearance [m]	3,75	3,51	3,14
	Raggio della circonferenza generata dal rotore di coda durante la rotazione dell'elicottero [m]	12,19	10,36	7,62
Rotore di coda	Diametro del rotore di coda [m]	3,14	2,62	1,86
	Numero di pale del rotore di coda	5	2	2
	Ground clearance [m]	2,62	1,46	0,70
Carrello	Tipologia	wheel	skid	skid
	Lunghezza [m]	7,16	3,69	2,93
	Larghezza [m]	4,27	2,90	2,16
	Numero di motori/Tipologia	2/Turbina	2/Turbina	2/Turbina
	Numero di membri dell'equipaggio/ Numero di passeggeri	3/28	1/14	1/6
	Classe di prestazioni	1	1	1

Tabella 3.14 – Dimensionamento air-side secondo la normativa FAA

Casa Produttrice/Modello	S-61/H-3	Bell 412	AS-355
Larghezza TLOF (m)	18,90	15,20	15,20
Lunghezza TLOF (m)	18,90	15,20	15,20
Larghezza FATO (m)	37,80	30,50	30,50
Larghezza FATO (m)	61,00	61,00	61,00
Distanza minima tra i perimetri di FATO e TLOF (m)	7,20	5,80	4,20
Safety area: distanza lineare o radiale addizionale all'esterno della FATO (m)	9,00	9,00	9,00
Larghezza taxiway pavimentata per ground-taxi (m)	6,40	4,30	3,20
Larghezza taxiway per hover-taxi (m)	8,50	5,80	4,30

Casa Produttrice/Modello	S-61/H-3	Bell 412	AS-355
Helicopter stand (m)	26,60	20,60	15,50
Zona di protezione per lo stand (oltre lo stand) (m)	8,90	6,90	5,20
Lunghezza Minima Taxiway (m)	31,20	26,13	21,95
Distanze minime di separazione tra il perimetro della FATO ed il perimetro della runway (m)	180	120	50

Tabella 3.15 – Dimensionamento air-side secondo la normativa ICAO

Casa Produttrice/Modello	S-61/H-3	Bell 412	AS-355
Dimensione minima TLOF (m)	18,80	14,00	10,90
Dimensione minima FATO (m)	22,70	16,80	13,10
Distanza radiale o esterna FATO: safety area (m)	5,70	4,20	3,30
Larghezza Ground Taxiway (m)	10,70	5,50	4,40
Larghezza Ground Taxi-Route (m)	28,30	21,00	16,40
Larghezza Taxiway (m)	14,30	7,40	5,90
Stand (m)	27,20	20,20	15,80
Zona di protezione stand (m)	3,60	2,70	2,10
Stand per operazioni in hover-taxi o ground-taxi (Operazioni Simultanee) (m)	45,40	33,60	26,30
Stand per operazioni in hover-taxi o ground-taxi (Operazioni NON Simultanee) (m)	37,80	28,00	21,90

Tabella 3.16 – Confronto dimensionale sull'air-side

Casa produttrice/modello	Superficie Air-side (FAA) (m ²)	Superficie Air-side(ICAO) (m ²)
S-61/H-3	27.901	31.504
Bell 412	22.804	23.421
AS-355	19.221	18.791

Tabella 3.17 – Confronto tra le superfici funzionali dell'air-side (dimensioni in m²)

Aree funzionali air-side	S-61/H-3	Bell 412	AS-355
TLOF (FAA)	357	231	231
TLOF (ICAO)	353	196	118
FATO (FAA)	2.305	1.860	1.860
FATO (ICAO)	515	282	171
Safety Area (FAA)	4.408	3.831	3.831
Safety Area (ICAO)	1.162	635	388
Taxiway (FAA)	265	151	94
Taxiway (ICAO)	447	193	94
Apron (FAA)	23.228	18.819	15.295
Apron (ICAO)	29.894	22.592	18.309

Osservando i dati, emerge una differenza sostanziale tra l'approccio progettuale seguito prendendo come riferimento la normativa ICAO e quello secondo la normativa FAA. I criteri della normativa statunitense porterebbero ad un minore dispendio di suolo, soprattutto per gli elicotteri pesanti, per i quali la differenza con i criteri demandati dall'ICAO è via via crescente. Questa differenza, valutabile in circa 3.500 m², mette alla luce come la Federal Aviation Administration sia, per l'appunto, meno restrittiva rispetto all'ICAO.

Questa differenza, però, tende a assottigliarsi al diminuire del peso massimo al decollo dell'elicottero. La situazione è diversa nel caso di elicotteri leggeri. In questo caso è meno restrittiva la normativa FAA, probabilmente in ragione del fatto che la maggior parte della flotta mondiale degli elicotteri, utilizzata per il servizio di trasporto pubblico è composta da mezzi con capacità inferiore alle dieci unità, che per le loro operazioni di atterraggio/decollo/rullaggio, non potrebbero prescindere dalle considerazioni legate alla propria classe di prestazioni, prerequisito di fonte ICAO che, insieme al fattore sicurezza, rimane essenziale nella scelta progettuale.

Dalla lettura dei risultati presentati nella Tabella 3.17 si può notare come il dato che più di tutti differenzia i due diversi approcci progettuali è la dimensione della FATO, nettamente inferiore nel caso in cui si scelga di progettare secondo la normativa ICAO. Le Figure 3.22, 3.23, 3.24 e 3.25 mostrano rispettivamente le differenze nei valori delle superfici della FATO, della TLOF, della ground taxiway e dell'apron, calcolate per i tre modelli di elicottero, secondo le due normative.

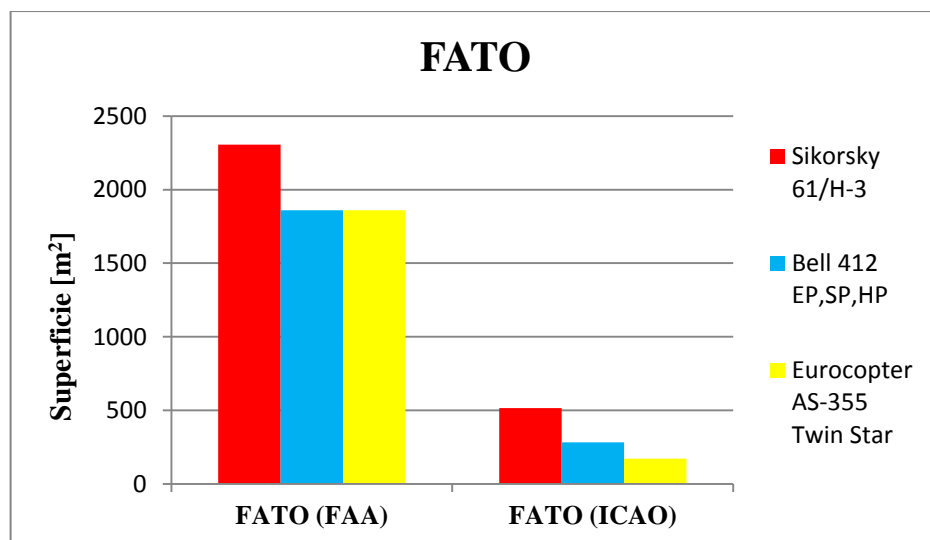


Figura 3.22 – Superfici della FATO secondo le due normative

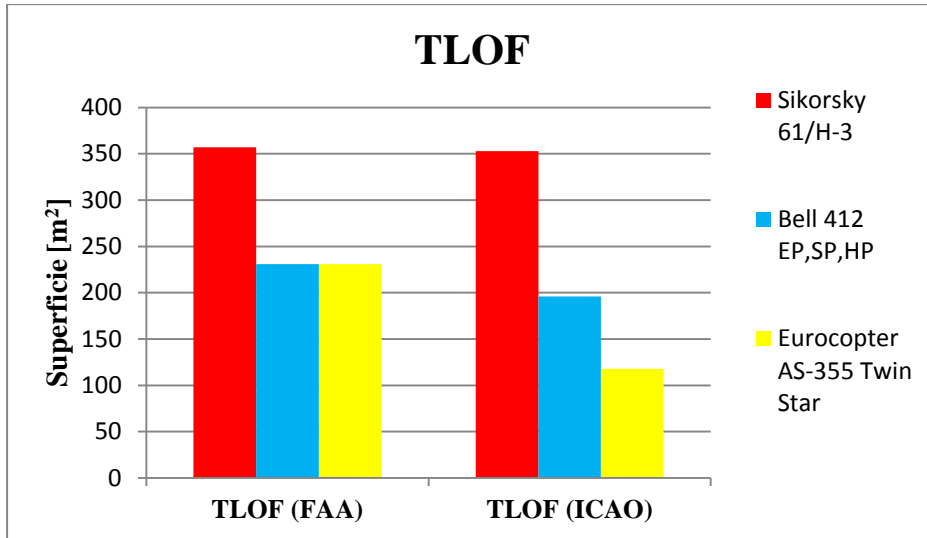


Figura 3.23 – Superfici TLOF secondo le due normative

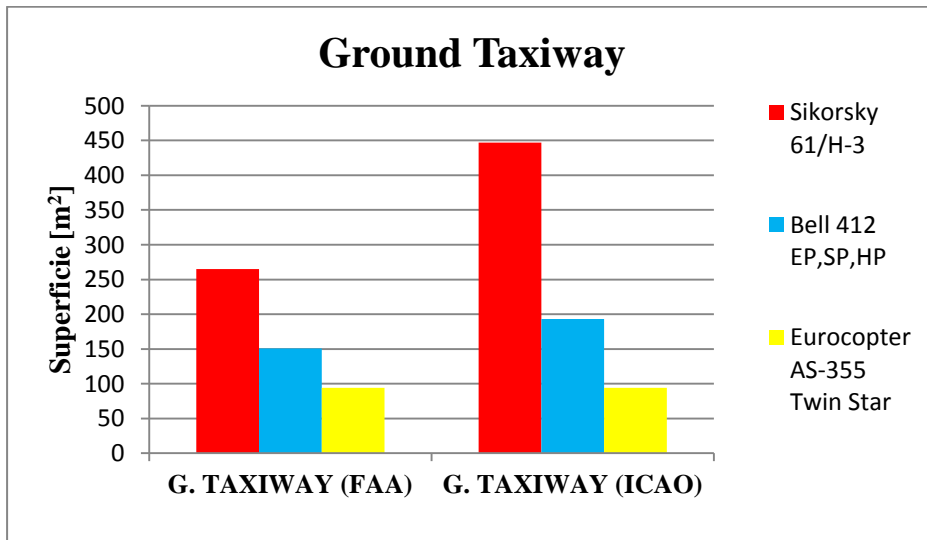


Figura 3.24 – Superfici della ground taxiway secondo le due normative

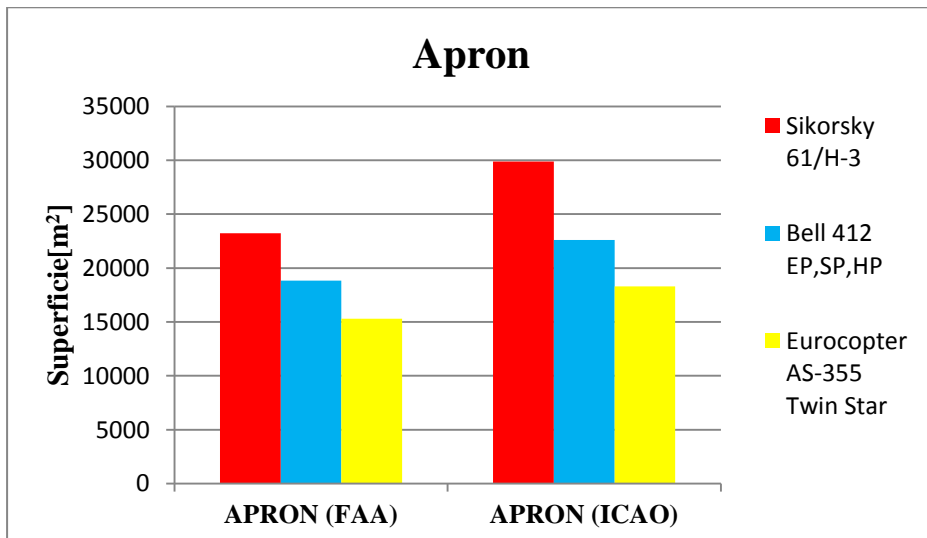


Figura 3.25 – Superfici dell'apron secondo le due normative

Si può notare come nel caso della TLOF, non emergono sostanziali differenze tra le due normative vigenti. Nel caso di elicottero di progetto di tipo pesante, la differenza è pressoché nulla, mentre vi è una riduzione della superficie della TLOF pari a circa il 50% nel caso di elicotteri leggeri. E' anche evidente come la FAA configuri la stessa dimensione della TLOF per elicotteri leggeri e medi, mettendo a disposizione del velivolo la stessa area resistente ai carichi dinamici.

Per quanto riguarda le ground taxiway, la normativa ICAO risulta essere quella meno restrittiva. La differenza sostanziale consiste nella definizione delle *strip* laterali di sicurezza, utilizzate per garantire l'effetto suolo al passaggio dell'elicottero ovviando al problema del *downwash* causato dal rotore dell'elicottero. La normativa ICAO intende aumentare il margine di sicurezza nei riguardi di possibili oggetti localizzati all'interno della taxiway, rispetto alle raccomandazioni minime emanate dalla FAA. La lunghezza minima della taxiway, come già detto, è stabilita in egual misura dai due Enti. Per un maggiore dettaglio, è possibile osservare la Figura 3.24, dalla quale si nota, per elicottero pesante, un'estensione della taxiway secondo la normativa ICAO pari a circa il doppio di quella dimensionata secondo la normativa FAA. Non risultano sostanziali differenze per gli elicotteri medi, mentre il valore è sostanzialmente uguale per gli elicotteri leggeri.

Infine, in relazione all'estensione dell'apron, si può affermare che la normativa FAA è più restrittiva rispetto alle direttive emanate dall'ICAO. La sostanziale differenza risiede nel fatto che quest'ultima prevede la possibilità di eseguire manovre in simultanea all'interno dello stand di sosta dell'elicottero aumentando la disponibilità di area a favore delle operazioni di svolta, siano queste eseguite mediante rullaggio in hover-taxi che in ground-taxi. Anche nel caso in cui si proceda a dimensionare gli stand di sosta per operazioni non simultanee, l'ICAO prevede ugualmente una superficie maggiore rispetto alla FAA nell'ordine del 25-30%. Come già discusso nei paragrafi precedenti, la possibilità di eseguire manovre in simultanea implica la necessità di maggiori requisiti di sicurezza, traducibili in una maggiore distanza da rispettare tra i velivoli ed in un incremento della disponibilità di pavimentazione resistente ai carichi statici e dinamici.

La Figura 3.26 evidenzia le differenze percentuali nelle superfici funzionali dell'air-side calcolate rispettivamente secondo la normativa FAA e secondo quella ICAO, per i tre elicotteri di progetto. I valori rendono evidente l'incidenza che la scelta dell'elicottero critico ha sulle possibilità di risparmio di suolo, in funzione del fatto che, la localizzazione di un eliporto per trasporto pubblico coincide frequentemente con zone ubicate in contesti forte-

mente urbanizzati, nei quali la disponibilità di aree idonee alla collocazione di una simile infrastruttura, è spesso di difficile reperimento.

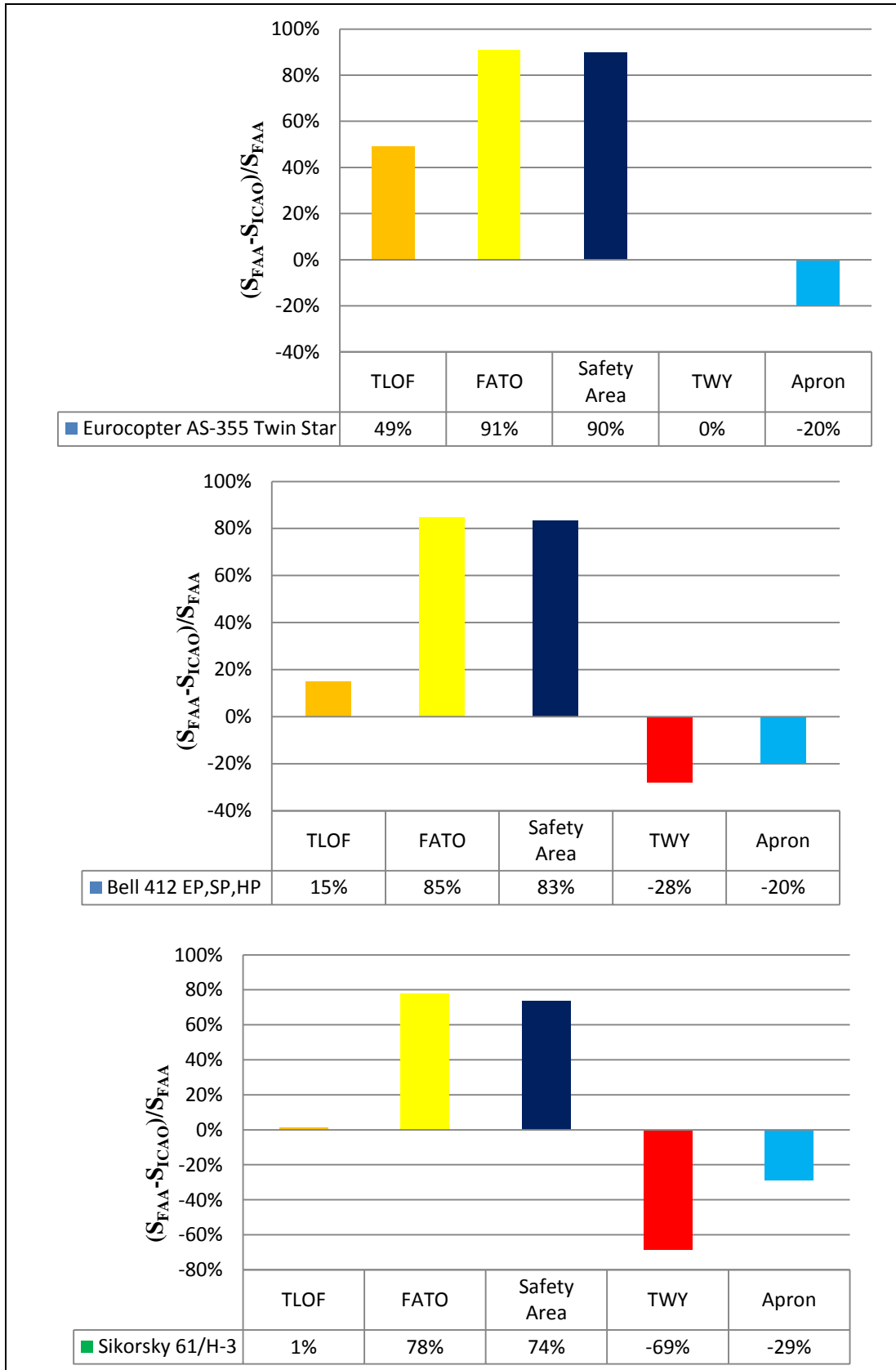


Figura 3.26 – Risparmio/perdita di suolo che si otterrebbe seguendo la normativa FAA

Le percentuali della Figura 3.26 esprimono il livello di risparmio/perdita di superficie del suolo che si otterrebbe seguendo le indicazioni progettuali della normativa statunitense, per le tre tipologie di elicotteri di progetto. Come si può notare, per quanto riguarda la FATO e la *safety area*, adottando la normativa FAA si ottiene un risparmio di spazio che oscilla tra il 70% e il 90% in relazione al modello scelto per l'elicottero tipo. In particolare, tale valore è tanto più elevato quanto minore è la dimensione dell'elicottero. Questa peculiarità si riscontra anche nel caso della TLOF: per essa però, si sono riscontrati valori massimi prossimi al 50% per l'elicottero più leggero e in sostanza nulli per quello più pesante. Tutto ciò si traduce nell'affermazione che la progettazione di una piazzola di decollo/atterraggio in un eliporto destinato ad accogliere elicotteri pesanti può eseguirsi indipendentemente seguendo la normativa statunitense o internazionale senza che vi sia una differenza sostanziale nel suolo occupato.

Al contrario, per quanto riguarda l'apron e le taxiway, se si vuole contenere lo spazio occupato, conviene progettare secondo le direttive ICAO. E questo discorso è tanto più vero quanto maggiore è la dimensione dell'elicottero di progetto.

3.11.2 Dimensionamento del land-side eliportuale

Il land-side eliportuale, seppur con i dovuti accorgimenti e le relative semplificazioni del caso, può progettarsi in modo analogo al caso aeroportuale. Tralasciando la viabilità di accesso, il land-side può suddividersi nelle due aree funzionali relative al terminal e ai parcheggi di sosta. Le differenze sostanziali tra un terminal eliportuale ed uno aeroportuale sono le seguenti:

- non vi è la necessità di separare i flussi in partenza/arrivo;
- gli spazi nei terminal eliportuali sono nettamente più contenuti e tutto ciò si traduce in distanze pedonali da percorrere più brevi (e dunque nel minor tempo speso dai passeggeri all'interno del terminal);
- possibilità di costruzione del terminal eliportuale al di sotto della piattaforma di decollo/atterraggio (eliporti sopraelevati).

Tutte queste caratteristiche rendono più snella e flessibile la pianificazione e la progettazione del land-side eliportuale rispetto al caso aeroportuale. Al fine di evidenziare la suddivisione delle aree funzionali del terminal e degli spazi di sosta, è stata eseguita una simulazione concernente il dimensionamento del land-side in funzione del traffico che interesserà l'infrastruttura. Di fatto, ad oggi non esiste nessun documento che guida il progettista nel dimensionamento funzionale del terminal eliportuale. Ciò non toglie di poter fare rife-

rimento a documenti specifici del settore aeroportuale, traendone da essi, un grande vantaggio. Pertanto, i criteri seguiti per l'individuazione delle dimensioni e delle specificità tecniche sono quelli elencati all'interno della circolare FAA AC 150/5360-9 del 1980, recante disposizioni sulla pianificazione e progettazione di terminal per strutture aeroportuali secondari. L'approssimazione del caso, ovvero la sostitutività degli eliporti con aeroporti secondari, è stata ipotizzata dalla comparazione dei volumi di traffico che interessavano gli aeroporti secondari negli anni '80 con i valori attuali del traffico che viene movimentato negli eliporti principali a servizio dei passeggeri.

Una raccomandazione generale per la fase di progettazione, estendibile anche al caso dell'air-side, consiste nel pianificare gli spazi secondo una concezione "aperta" che preveda possibilità di adattamenti e modifiche future in relazione alle variazioni del traffico e delle tecnologie che si diffonderanno negli anni a venire. La flessibilità in un terminal passeggeri, richiede, ad esempio, l'uso di pareti divisorie mobili, in modo da convertire agevolmente gli spazi per usi diversi da quelli originariamente previsti. Tutti gli elementi architettonici e strutturali adottati nella fase progettuale dovrebbero tener conto di questo, considerando anche il fatto che l'uso di alcuni materiali metallici può causare alterazione alla strumentazione di navigazione dell'elicottero.

Una struttura costituita da una semplice configurazione rettangolare, piuttosto frequente nel caso di terminal eliportuali, si presta più facilmente ad un'espansione della propria area funzionale. In molti casi, constatata l'importanza strategica dell'eliporto, in termini di collegamenti rapidi con zone territoriali scarsamente accessibili o altri terminal di trasporto quali gli aeroporti, il progettista ha il compito di dislocare gli spazi all'interno del terminal in modo da assicurare, anche durante la fase di espansione futura, la continuità delle operazioni, evitando una chiusura temporanea dello scalo.

Il terminal eliportuale può essere suddiviso in specifiche aree operative che hanno il ruolo di assolvere diverse funzioni ma, in linea del tutto generale, deve comprendere almeno:

- una biglietteria;
- un'area check-in;
- una zona commerciale;
- una zona adibita agli uffici dei vettori ed allo smistamento dei bagagli in uscita;
- una hall di attesa;
- una zona di riconsegna dei bagagli.

A seconda della complessità del terminal, queste zone possono essere separate o inglobate in un'unica "emplaning hall" che svolge più funzioni contemporaneamente.

Per il dimensionamento della superficie del terminal, la circolare FAA AC 150/5360-9 pone l'attenzione sulla previsione di domanda del flusso passeggeri, riferito all'intero anno oppure all'ora di punta. I dati previsionali dei passeggeri in transito sono utilizzati per determinare lo spazio necessario da destinare alle aree funzionali che costituiscono il terminal nelle sue varie parti: il fronte check-in, il fronte biglietteria, le hall di attesa, l'area dedicata alle concessioni, gli uffici delle compagnie elicotteristiche, la zona restituzione bagagli, il numero di stalli pubblici per i veicoli in sosta. Le previsioni di domanda hanno uno sviluppo che può raggiungere 5, 10 o 20 anni.

Nell'ambito delle simulazioni effettuate, si è scelto di dimensionare il land-side eliportuale e le relative aree funzionali sulla base del traffico. In particolare si è fatto riferimento a tre categorie di eliporti:

1. Eliporto di tipo A, a basso volume di traffico, in grado di movimentare 20.000 passeggeri/anno;
2. Eliporto di tipo B, a medio volume di traffico, in grado di movimentare 100.000 passeggeri/anno;
3. Eliporto di tipo C, ad elevato volume di traffico, in grado di movimentare 250.000 passeggeri/anno.

Le tre categorie sono state scelte in base ai dati effettivi (riferiti all'anno 2011) di movimenti di passeggeri presente negli eliporti per trasporto pubblico, citati nel primo capitolo. Per quanto riguarda il numero di stalli di sosta da destinare ai veicoli, la normativa mette a disposizione del progettista il grafico mostrato in Figura 3.27. Come si può notare, si ottengono valori prossimi a 50, 175 e 400 stalli rispettivamente per gli eliporti A, B e C. Per dimensionare le aree funzionali, sarebbe necessario ricavare la "domanda di picco della trentesima ora", derivandola dal traffico totale commerciale annuale transitato sui voli schedulati, attraverso opportuni fattori di conversione. Nell'ambito dei trasporti aeronautici, la definizione della domanda di picco alla trentesima ora non è però univoca, a causa della diversa tipologia di aeroporto/eliporto che si sta considerando, della differente sequenza dei passeggeri e dei relativi flussi, dei diversi tempi di attesa per ogni tipologia di servizio e di altri parametri.

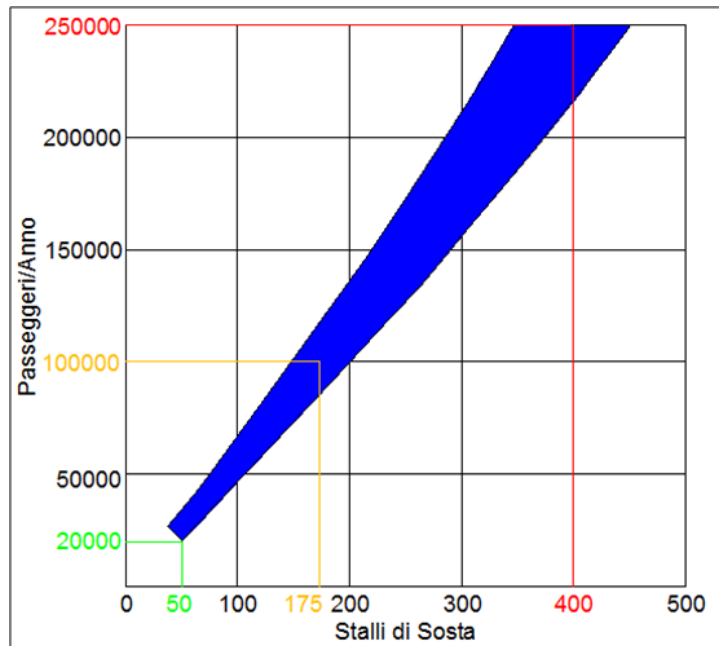


Figura 3.27 – Grafico per il dimensionamento dello spazio per la sosta dei veicoli

Tra i diversi metodi di calcolo del numero di passeggeri dell'ora di punta, spicca la difficoltà nel definire un valore chiaro ed univoco dell'ora di punta. Studi sperimentali hanno condotto alla definizione di diverse procedure atte allo scopo; le principali sono i PPHP – *Planning Peak Hour Passengers* ed i TPHP – *Typical Peak Hour Passengers*. L'ultimo metodo è utilizzato sia dalla FAA che dall'ENAC.

Gli spazi del terminal da destinare ai vari servizi possono essere calcolati seguendo diverse metodologie, tra le quali:

- teoria delle code;
- analisi grafica, con l'uso di diagrammi cumulativi;
- modelli di simulazione;
- equazioni parametriche;

Nell'ambito delle simulazioni effettuate si è scelto di progettare il terminal in funzione del parametro TPHP, universalmente adottato. Alcuni studi statistici, hanno evidenziato come il percorso seguito da un passeggero in transito presso un terminal eliportuale sia pressoché standard. Attraverso indagini campionarie è stato appurato che il 100% dei passeggeri effettua il check-in ed i controlli sicurezza, circa il 39% si avvale della biglietteria e circa il 29% effettua acquisti presso gli esercizi commerciali. Inoltre, la tipologia di traffico elicotteristico ed i servizi del terminal non sono uguali in tutti gli eliporti, in quanto ognuno di essi è una realtà distinta, trovandosi in contesti territoriali, economici e sociali diversi.

Il TPHP è concettualmente simile al traffico della trentesima ora utilizzato nella pianificazione stradale, ed è ricavabile dalla seguente relazione:

$$TPHP = Pax_{annui} \times phf \times f_d$$

dove:

Pax_{annui} = numero di passeggeri annui;

phf = fattore dell'ora di punta, che risulta essere sempre minore dell'unità;

f_d = fattore correttivo che, nel caso eliportuale, vale 0,2 o 0,13 a seconda che il numero di passeggeri annui sia inferiore o superiore alle 100.000 unità (teoricamente se il traffico superasse le 500.000 unità annue questo valore sarebbe pari a 0,08). Questo valore è decrescente al crescere del numero di passeggeri, giacché rappresenta tecnicamente la “fluidità” dei transiti nel terminal, ovvero il grado di congestione, via via maggiore all'aumentare dei transiti. Per i tre eliporti tipo considerati, si ottengono rispettivamente valori dei TPHP pari a 14, 46 e 114. Si nota immediatamente che il valore di TPHP conduce a valori considerevoli solamente per quegli eliporti che superano la soglia dei 200.000 passeggeri transitati durante l'anno. Questo vuol dire che solo in taluni casi si ha un “ipotetico” affollamento del terminal. Tutto ciò si traduce in un innalzamento del livello di servizio, con la probabile assenza di code tanto nei fronti biglietterie e check-in, quanto ai controlli di sicurezza e nella zona restituzione bagagli. Noto, quindi, il valore del numero di passeggeri nell'ora di punta, è stato possibile determinare la superficie di tutte le aree funzionali del terminal, facendo riferimento ai grafici riportati nella circolare FAA, alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti. La Tabella 3.18 mostra i risultati delle simulazioni effettuate, recanti la suddivisione degli spazi funzionali per le tre categorie di eliporti tipo.

Tabella 3.18 – Dimensioni minime delle aree funzionali del land-side eliportuale per categoria di traffico

	Eliporto A	Eliporto B	Eliporto C
Traffico (pax/anno)	20.000	100.000	250.000
TPHP	14	46	114
Numero di stalli di sosta per veicoli	50	175	400
Totale superficie parcheggio (m²)	625	2.187	5.000
Fronte check-in (m ²)	-	30	55
Fronte biglietteria (m ²)	-	-	28
Concessioni (m ²)	-	65	96
Uffici delle compagnie elicotteristiche e smistamento bagagli in uscita (m ²)	-	150	280
Hall di attesa (m ²)	-	-	90
Area ritiro bagagli (m ²)	-	62	92
Totale Landside (m²)	-	2.494	5.641

Dai risultati ottenuti emergono due scenari ben distinti; da un lato, negli eliporti in cui la domanda di passeggeri annuale è superiore alle 100.000 unità, associata ad un quantitativo di passeggeri all'ora di punta di almeno 50 unità, il terminal deve essere concepito come quello di un aeroporto, suddividendo nello specifico le aree funzionali. Dall'altro lato, è ben evidente che per tutti quegli eliporti dove è bassa la domanda di traffico, non vi è la necessità di una "distinzione" funzionale delle aree all'interno del terminal stesso. E' preferibile, quindi, una "*emplaning hall*". E' da valutare, inoltre, anche la possibilità di collocare il servizio di trasporto elicotteristico all'interno di un terminal aeroportuale già esistente, se questo è ubicato nelle vicinanze del probabile sito di costruzione dell'eliporto. Questo per ovvii problemi di costi-benefici che porterebbero alla costruzione di un'infrastruttura di trasporto non pienamente necessaria alle esigenze di mobilità di un territorio.

CAPITOLO 4

La compatibilità ambientale delle infrastrutture eliportuali

Premessa

Nel corso degli ultimi due decenni, l'aviazione ha mostrato una consistente crescita. Come conseguenza di questa esplosione del traffico aereo, molti aeroporti hanno raggiunto la condizione critica di congestione. I vincoli di capacità hanno dato come effetto frequenti ritardi nel traffico, sia nel tratto aereo sia in quello a terra. Allo scopo di raggiungere queste esigenze di incrementi di capacità, velivoli più lenti (per esempio gli elicotteri) sono separati dal flusso normale di traffico e “ritardati” (posti in circolo o trattenuti a terra tramite strategie di *ground holding*) fino a che adeguati distanziamenti non siano disponibili per metterli in sequenza nel sistema. Sono stati condotti numerosi studi sui diversi fattori che hanno portato agli attuali problemi della capacità nel tentativo di migliorare la situazione senza imporre una penalizzazione a ciascuna classe o tipo di utente. La soluzione più ovvia ma meno ingegneristica appare essere quella relativa alla costruzione di nuove infrastrutture, per esempio nuovi aeroporti, piste aggiuntive, e “ampliamento” dello spazio aereo. Vincoli di carattere economico-fiscale e carenza di spazi disponibili, assieme alle pressioni degli abitanti delle zone prossime alle infrastrutture aereo ed eliportuali, hanno reso in alcuni casi difficoltoso, se non addirittura impossibile, la costruzione di nuove infrastrutture, e, in ogni caso, nuove piste. Inoltre, se da un lato lo spazio aereo può essere considerato un fattore invariabile e, quindi, non ampliabile, è importante considerare che esso possa essere utilizzato più efficacemente. Il più semplice ed economico approccio per incrementare la capacità è quello di modificare le procedure esistenti e/o di sviluppare nuovi criteri relativamente alle procedure che possano separare i percorsi di avvicinamento agli aeroporti e permettere sia ai velivoli ad ala rotante che a quelli ad ala fissa, analoghi, ma indipendenti, accessi alle aree di atterraggio. A fronte dei benefici offerti dall'elicottero dal punto di vista della mobilità e dei progressi tecnologici recentemente ottenuti, appare ancora evidente la persistenza delle problematiche di carattere ambientale che questo mezzo genera specialmente in corrispondenza delle zone di decollo ed atterraggio. L'utilità del mezzo è surclassata dalla scarsa accettazione delle operazioni con velivoli ad ala rotante specialmente dai non utenti di questa particolare modalità di trasporto: in aggiunta, proprio quest'ultima

categoria, vede l'elicottero come un "giocattolo costoso" riservato ad una ristretta *élite* di utenti, incapace di contribuire alla generazione di un'utilità collettiva. Per tutti questi motivi, le problematiche di carattere ambientale che l'elicottero genera, principalmente identificate come inquinamento acustico e atmosferico, rimangono ancora uno dei deterrenti principali della scarsa diffusione di questa modalità di trasporto.

Questo capitolo focalizza l'attenzione sulle problematiche inerenti alla compatibilità ambientale degli eliporti, in termini di inquinamento acustico, procedure operative ed impatto sul territorio.

4.1 Gli impatti delle infrastrutture eliportuali sul territorio

L'apprezzamento degli elicotteri da parte della comunità è cresciuto notevolmente negli ultimi decenni a causa del loro crescente utilizzo nei servizi di security, HEMS e SAR, lavoro aereo, fotogrammetria, trasporto passeggeri di linea o per aerotaxi ecc. Nonostante ciò, l'elicottero continua a generare nelle persone una impressione negativa per quanto riguarda l'impatto ambientale, soprattutto in termini di inquinamento acustico: esso infatti è percepito come rumoroso e invadente. L'impatto ambientale degli elicotteri dovrebbe quindi essere ridotto al minimo in modo da far prevalere l'utilità del servizio in ragione della connotazione negativa che gli è stata attribuita. Questa è una delle grandi sfide che l'industria elicotteristica dovrà affrontare nei prossimi anni. Negli ultimi anni si è cercato di arginare il problema "rumore" mediante soluzioni sia tecnologiche che procedurali. Spesso gli operatori civili incoraggiano i loro piloti ad osservare una sorta di "codice di comportamento", che richiede un rigoroso rispetto delle procedure per l'atterraggio o il decollo in modo da ridurre al minimo l'inquinamento acustico percepito al suolo. E' proprio in queste fasi che il rumore viene maggiormente percepito dalle comunità residenti in prossimità delle infrastrutture. Infatti, un elicottero moderno che sorvola una zona urbana mediamente trafficata ad una quota di 1.500 metri è difficilmente percepito in quanto il livello sonoro da esso generato si attesta al di sotto del "rumore ambientale". Di contro, durante le manovre di atterraggio o decollo il rumore viene fortemente percepito, soprattutto in aree densamente urbanizzate.

Oltre a garantire un'elevata qualità del servizio, gli operatori che forniscono attività di trasporto a mezzo elicotteri devono perseguire un duplice obiettivo: soddisfare le esigenze dei passeggeri e, al contempo, preservare la qualità della vita dei residenti nelle vicinanze di eliporti. Tali requisiti sono da considerarsi aspetti fondamentali che influenzano

l'economia e lo sviluppo del territorio nel quale l'infrastruttura si colloca. Molte città densamente urbanizzate ospitano almeno un eliporto e la presenza di queste infrastrutture richiama la necessità di affrontare le questioni ambientali, riconoscendo il ruolo chiave delle attività di gestione ambientale nella fornitura dei servizi di trasporto aereo, il quale contribuisce ad innalzare i livelli di domanda, l'attrattiva del servizio stesso ed a favorire il progresso tecnologico.

Nelle grandi aree urbane, vi sono diverse barriere fisiche talvolta aggravate da elevate densità di popolazione e progressivo aumento della congestione del traffico stradale: tutte queste condizioni evidenziano la necessità di mezzi veloci di trasporto. La creazione di una rete di eliporti a scala inter-urbana potrebbe svolgere un ruolo importante, fornendo un miglior livello di accessibilità per unità di costo, rispetto agli aeroporti: da questo punto di vista, gli eliporti possono essere considerati come strumenti per lo sviluppo economico.

A tal riguardo, diversi sono i benefici creati dai VTOL: così come accennato nel primo capitolo, i servizi di linea civili possono infatti contribuire a ridurre significativamente la congestione negli aeroporti principali e in alcuni casi comportare un incremento della domanda di traffico aereo integrando i servizi aerei convenzionali, ad esempio:

- utilizzando piccoli aeroporti vicino ai grandi hub, in grado di instradare il traffico degli elicotteri o assegnare al traffico di velivoli non convenzionali aree minori all'interno degli aeroporti, distanziate opportunamente dalle piste di volo per non influenzare il traffico aereo di linea convenzionale;
- fornire agli aeroporti un guadagno nell'accrescimento del bacino di utenza, utilizzando il VTOL per raggiungere velocemente zone marginali all'interno delle regioni e il centro delle grandi città congestionate.

Per riprendere il tema della compatibilità ambientale delle operazioni negli eliporti, questo obiettivo può essere raggiunto attraverso l'ottimizzazione delle attività, operando sia sugli aspetti qualitativi che su quelli quantitativi (per esempio, agendo attraverso la distribuzione spaziale e temporale delle operazioni pianificate). A tale proposito, in alcuni casi, la limitazione quantitativa del numero di operazioni negli eliporti esistenti sembra essere la strada più semplice da seguire.

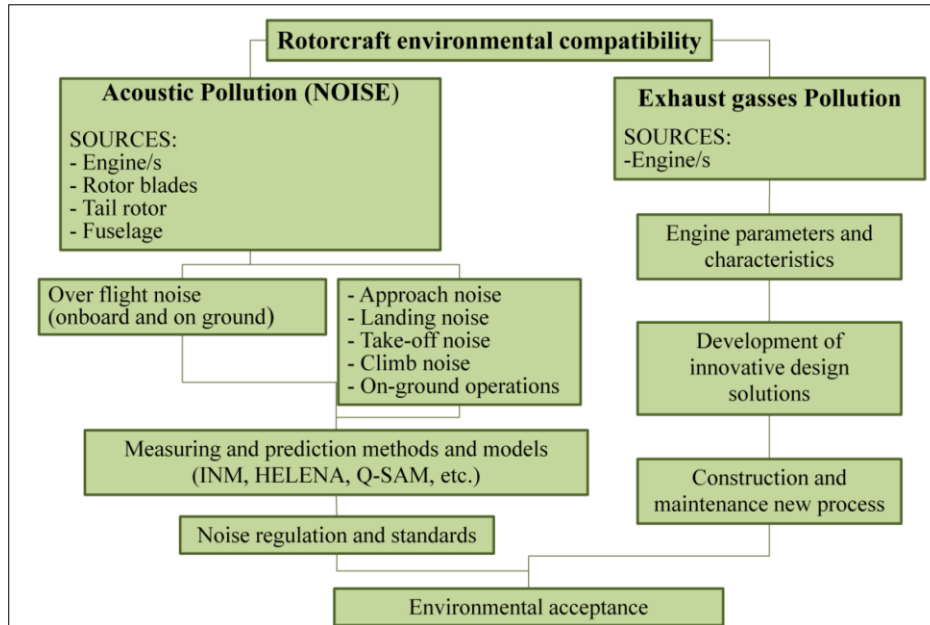


Figura 4.1 – Analisi della compatibilità ambientale delle infrastrutture eliportuali
(Fonte: Amoroso, S., Castelluccio, F., Maritano, L.)

Le questioni più importanti che riguardano l'analisi delle procedure di volo durante le manovre sulle zone vicine alle strutture (avvicinamento, atterraggio, decollo, ecc.) sono, come si può vedere in Figura 4.1:

- lo studio della compatibilità ambientale degli eliporti in termini di rumore (avvicinamento, atterraggio e altre fasi di volo, metodi di misurazione, regolazione);
- l'analisi dell'inquinamento da gas di scarico (caratteristiche dei motori, le misure di abbattimento dell'inquinamento atmosferico).

4.2 Gli effetti sulla comunità

Nel considerare l'accettazione del rumore generato dai VTOL da parte della comunità, bisogna concentrarsi sulle procedure di valutazione per la previsione dell'impatto acustico degli aeromobili ad ala fissa in prossimità degli aeroporti. Talvolta, la presenza di un eliporto crea una reazione avversa nella popolazione che risiede nelle aree limitrofe, sproporzionata rispetto al mero fastidio generato dai livelli di rumore misurati e previsti utilizzando le procedure standard. Una parziale spiegazione della disparità tra le valutazioni del rumore e la reazione della comunità per le operazioni con elicotteri è stata identificata da alcuni autori (Leverton e Pike, 2006) come carenze nei metodi di rating.

Per un'analisi più completa di questo problema, è necessario esaminare il modo in cui vengono percepite le operazioni con gli elicotteri. Le operazioni con aeromobili ad ala fissa

coinvolgono tipicamente un gran numero di voli al giorno e, in quanto alle caratteristiche del rumore, la maggior parte dei velivoli sono simili tra loro. Al contrario, le operazioni con elicotteri sono molto diverse. Generalmente il numero di operazioni al giorno, anche vicino a un eliporto, è relativamente basso e molto variabile in natura. I sentieri di volo in VFR, a differenza di quelle IFR, sono spesso disattesi in quanto i piloti i quali tendono a deviare le traiettorie originariamente prestabilite ed elencate negli AIP per motivi di praticità a talvolta legati al risparmio di carburante. Questo genera una variabilità nella previsione delle aree soggette a rumore.

La differenza principale tra il rumore prodotto da un elicottero e quello generato dai velivoli ad ala fissa risiede non tanto nell'intensità ma piuttosto negli effetti che il rotore o i rotori dei velivoli ad ala rotante generano interagendo tra loro e con la fusoliera. Alcuni di questi effetti sono:

- *Blade Slap*: effetto che determina un aumento del rumore, generato dalla frequenza di rotazione delle pale del rotore principale;
- *Blade Vortex Interaction (BVI)*: effetto che occorre ogni qual volta una pala del rotore passa all'interno del vortice generato dalla rotazione delle pale precedenti ad essa nel verso di rotazione del rotore. Ciò provoca un cambiamento rapido del carico agente sulla pala e di conseguenza un incremento impulsivo di rumore generato proprio da questa modifica del carico. Questo tipo di rumore si genera sia al di sopra che al di sotto del rotore e la direzione verso la quale si diffonde dipende dal preciso assetto delle pale. Generalmente, la direzione predominante nella quale il rumore si diffonde, è verso il basso e in avanti mentre nella direzione opposta si diffonde verso il basso e indietro. E' stato dimostrato che i fattori principali che governano il fenomeno sono la distanza tra la pala e il vortice, la consistenza del vortice al momento dell'interazione con la pala, e l'angolo d'incidenza tra la pala e l'asse del vortice;
- *Tail Rotor Interaction (TRI)*: nonostante la maggiore aliquota del rumore sia generata dal rotore principale, il rumore generato dal rotore di coda rappresenta una fonte di disturbo non indifferente per chi si trova vicino all'elicottero, ove tale rumore, caratterizzato da un'elevata frequenza, non è ancora attenuato dall'atmosfera. Il rumore generato dal rotore di coda è più fastidioso all'orecchio umano e ciò è proprio dovuto alla frequenza più elevata (maggiormente apprezzabile dall'orecchio) rispetto a quella del rotore principale.

- *High Speed Impulsive Noise* (HSI): questo tipo di rumore è causato dal flusso impulsivo transonico che agisce sulla pala nella fase di avanzamento di quest'ultima. Tale rumore si diffonde in genere in avanti rispetto al senso di rotazione della pala sul piano del rotore principale.

Al fine di monitorare e mitigare l'impatto ambientale di un eliporto, tutti gli attori coinvolti (gli enti statali e locali, le associazioni di residenti, gli utenti e i gestori dell'eliporto) dovrebbe adottare adeguate misure di protezione o intraprendere azioni per attenuare gli effetti. La metodologia utilizzata per la misurazione del rumore generato dagli elicotteri è cruciale per una corretta valutazione della compatibilità ambientale. L'interesse per gli effetti del rumore sulla comunità ha portato allo sviluppo di diversi parametri di rumore per caratterizzare al meglio la percezione sonora. Gli indicatori per caratterizzare il rumore degli aerei considerano un intervallo di misura di durata pari al realizzarsi di un evento unico o a 24 ore come ad esempio EPNL (*Effective Perceived Noise Level*), SEL (*Sound Exposure Level*), TA (*Time Above*), o Leq (*Equivalent Noise Level*).

Le metriche più frequentemente utilizzate sono il DNL (*Day-Night Level*), LDEN (*Day-Evening-Night Level*) o CNEL (*Community Noise Equivalent Level*), LVA (*Livello di Valutazione del rumore Aeroportuale*, usato in Italia). Questi indicatori si differenziano per i diversi pesi che si attribuiscono alle ore del giorno in cui è misurato il rumore, per tenere conto del fastidio maggiore che si arreca alla comunità nelle ore serali e notturne.

Le unità di misura di questi indici possono rettificare il livello misurato con diverse tecniche di pesatura. Le più utilizzate sono la “*A-weighted adjustment*” e la “*C-weighted adjustment*”: la prima è utilizzata per tenere conto del range delle frequenze percepite dall'orecchio umano (l'orecchio è meno sensibile alle basse frequenze) mentre la seconda è utilizzata per amplificare o deamplificare il rumore.

Alcuni autori (Leverton, Pike, Schomer, Staples, Ollerhead, Jones et al.) hanno studiato a fondo le problematiche inerenti al rumore nell'intorno degli eliporti. *In primis*, va sottolineata una differenziazione tra rumore *generato* dagli elicotteri, rumore *misurato* dagli strumenti e rumore *percepito* dalla comunità. Talvolta possono esistere differenze sostanziali tra le tre tipologie di rumore. Ad esempio, Leverton scinde i fattori che influenzano l'accettazione del rumore da parte della comunità in due gruppi: rumore “acustico” e “non acustico”, quest'ultimo definito anche come “rumore virtuale”. L'elemento di disturbo virtuale è legato a fattori non acustici come il timore dei rischi per la sicurezza, le scarse relazioni o la precaria familiarità della comunità con gli operatori dell'infrastruttura. Il rumore virtuale non è correlato al livello assoluto di rumore acustico misurato. Leverton suggerì-

sce fattori di correzione delle metriche utilizzate per tener conto degli effetti non-acustici del rumore dell'elicottero, così come indicato nella Tabella 4.1.

Tabella 4.1 – Fattori acustici e virtuali nella valutazione del rumore

Effetti non acustici	Fattore di correzione (dBA)
Percezione negativa dei voli <i>leisure</i>	+5
Scarsa familiarità della comunità con l'infrastruttura	+10
Paura degli incidenti	+10
Assenza di risposte ai reclami della comunità	+20
Elicotteri che sorvolano a bassa quota	+20

Per comprendere l'importanza dei fattori non correlati al livello di rumore misurato, si riporta questo esempio: quando un elicottero che genera livelli contenuti ma comunque percepibili di rumore impulsivo, sorvola un'area abitata da una popolazione molto sensibile al problema della sicurezza, questo potrebbe creare lo stesso fastidio di un elicottero che genera elevati livelli di HSI, BVI e TRI, su comunità più tolleranti verso le operazioni con velivoli ad ala rotante. Da questo punto di vista si può concludere che, se da un lato la problematica dell'inquinamento acustico in termini di rumore generato è legata principalmente al mezzo e dunque può essere in parte risolta tramite l'evoluzione tecnologica, dall'altro lato, gli effetti sulla comunità vanno valutati *in loco* caso per caso, essendo dipendenti da una serie di fattori tra loro interagenti.

4.3 Panoramica sulle linee guida per la valutazione dell'impatto ambientale delle operazioni con elicotteri

La generazione del rumore di un elicottero e la relativa direzionalità dipendono dalle fasi di volo e dalle manovre eseguite dal mezzo. Per mitigare l'impatto sulle aree situate in prossimità dei sentieri di discesa e di decollo, le associazioni ambientaliste, le amministrazioni locali e le organizzazioni aeronautiche forniscono delle linee guida utili sia dal punto di vista della gestione delle infrastrutture che da quello dell'operatività degli elicotteri. Appare evidente che la "manovra perfetta" per evitare le zone sensibili al rumore non esiste, poiché questa dipende dal contesto, dalle condizioni ambientali e meteorologiche e da altri fattori e dunque varia da caso a caso. Più precisamente, si tratta di raggiungere un compromesso tra i livelli di comfort da assicurare ai passeggeri e all'equipaggio, la sicurezza operativa al fine di scongiurare l'impatto con ostacoli artificiali e naturali, e il risparmio di carburante, fattore oggi più che mai deterrente della scarsa utilizzazione del mezzo ad ala rotante.

La FAA fornisce linee guida importanti per contribuire alla mitigazione degli impatti ambientali in prossimità di aeroporti ed eliporti. I documenti di riferimento a riguardo sono l'Order 1050.1E CHG 1 denominato "Impatti ambientali: politiche e procedure" ed elaborato in base alle direttive dell'Appendice H del titolo 14 CFR Part 36 (requisiti acustici per gli elicotteri), ed il *National Environmental Policy Act* (NEPA).

Riguardo alla prevenzione del rischio di collisione con ostacoli naturali e artificiali durante le manovre di decollo e di avvicinamento, la FAA fornisce le *Helicopter Route Charts* (Figura 4.2), ovvero grafici policromatici che riportano le informazioni aeronautiche aggiornate utili ai piloti degli elicotteri che navigano in zone altamente trafficate.

Le informazioni riportate includono i percorsi da seguire, le tipologie di eliporti differenziate in relazione al traffico ed alle caratteristiche della segnaletica luminosa, gli aiuti alla navigazione e gli ostacoli orografici. Purtroppo queste carte vengono rilasciate per un numero limitato di eliporti e talvolta non vengono aggiornate.

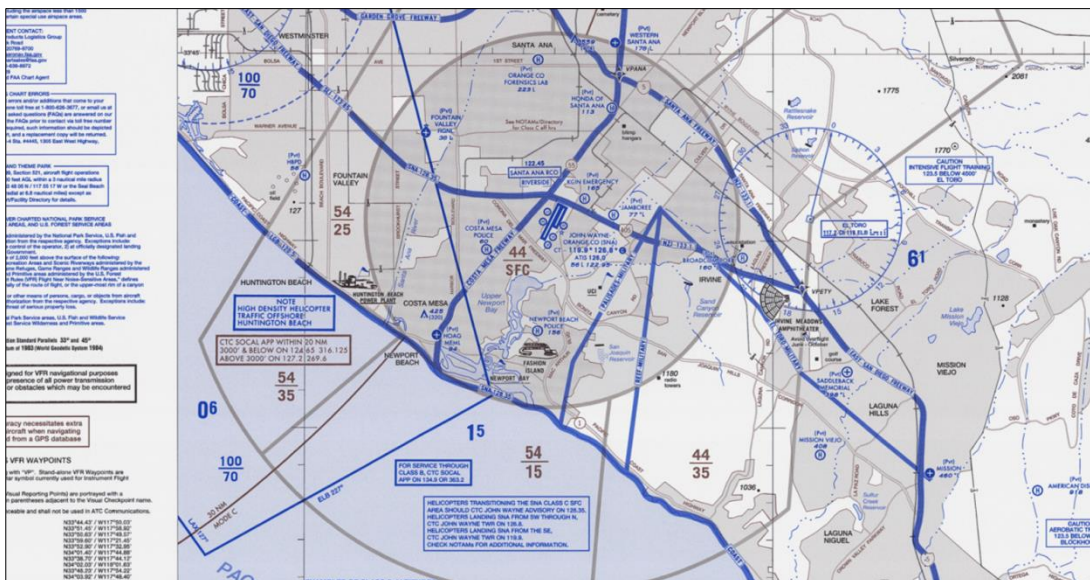


Figura 4.2 – *Helicopter Route Chart* dell'aeroporto di Los Angeles

La Commissione Ambientale Acustica dell'HAI ha il compito di revisionare tutte le normative in materia di inquinamento acustico del mezzo elicottero. In questa veste, l'HAI funge da *task force* sul rumore elicotteristico e svolge attività di consulenza tecnico-politica sulla regolamentazione acustica del settore.

L'HAI pubblica le *Noise Abatement Procedures* standardizzate per tipologia di elicottero. Queste sono disponibili per la maggior parte dei modelli utilizzati. Un'ulteriore iniziativa promossa da questa importante associazione è il *Fly Neighbourly Program* ossia una campagna che mira all'abbattimento del rumore, progettata per essere applicata universalmente

da piccole e grandi organizzazioni di operatori del settore. Tale programma può applicarsi sia in ambito civile che militare e/o governativo. L'obiettivo principale è il connubio tra la riduzione dei livelli di emissione acustica e l'accettazione del mezzo da parte della comunità. Le linee guida di tale programma riguardano:

- le mansioni dei piloti e degli operatori;
- la formazione ed il training dei piloti;
- la pianificazione delle operazioni di volo;
- la sicurezza delle operazioni di volo con elicotteri;
- l'accettazione del mezzo.

Le principali politiche finalizzate alla riduzione del rumore sono correlate al peso che le amministrazioni attribuiscono a tale problematica e dunque sono direttamente relazionate alle pressioni che le comunità locali esercitano. In linea generale, da una disamina delle strategie adottate da diverse amministrazioni, è stato possibile categorizzare le diverse politiche in tre "atteggiamenti" o "principi":

- principio cautelativo, in base al quale le emissioni acustiche devono essere ridotte al minimo livello raggiungibile in quella data situazione;
- principio del "chi inquina paga", in base al quale i costi associati all'inquinamento acustico devono gravare sui responsabili del danno ambientale;
- principio preventivo, in base al quale devono mettersi in atto tutte le misure possibili per ridurre il rumore alla fonte.

E' interessante notare come il primo principio sia da considerarsi contemporaneamente attivo e passivo giacché richiede interventi sul mezzo e sull'infrastruttura. Il terzo principio è invece di tipo attivo in quanto si prefigge come base l'innovazione tecnologica. Il secondo principio svincola del tutto le amministrazioni da spese aggiuntive per la creazione di barriere antirumore e/o altri interventi infrastrutturali per la mitigazione del rumore supponendo che gli investimenti per la realizzazione di tali interventi siano generati dagli introiti delle tasse sulle emissioni acustiche.

4.4 Analisi sperimentale delle relazioni esistenti tra il rumore generato dalle operazioni con elicotteri ed i parametri operativi del mezzo

A conclusione di questo capitolo, si vogliono mostrare i risultati di un'indagine sperimentale, il cui intento è stato quello di evidenziare le possibili relazioni tra le dimensioni delle superfici isofoniche generate in corrispondenza del passaggio di un elicottero al di sopra di

una data area, e due parametri che riguardano l'operatività del mezzo ossia il numero di movimenti giornalieri e l'angolo formato dal sentiero di discesa con la FATO. L'obiettivo è la ricerca dell'esistenza di una relazione unica che possa esprimere, per dato modello di elicottero, il livello del rumore prodotto in funzione del traffico giornaliero che interessa un'infrastruttura adibita alla movimentazione degli elicotteri. D'altro canto, si vuole riflettere sull'efficacia di alcune restrizioni normative, che impongono agli elicotteri manovre con gli stessi ratei di discesa utilizzati dai velivoli ad ala fissa, vanificano così i vantaggi propri della flessibilità nelle manovre del mezzo elicottero. Per tale motivo, il target del compromesso comfort-consumi-sostenibilità-sicurezza va ricercato attraverso una adeguata sperimentazione che metta in luce i limiti di operatività ed i margini di miglioramento nelle manovre eseguite dagli elicotteri.

Nell'ambito dello studio ci si è avvalsi della versione 7.0 del codice di calcolo predittivo *Integrated Noise Model* (INM) sviluppato dalla FAA, che include al suo interno il pacchetto HNM (*Heliport Noise Model*). Si è fatto riferimento a 4 modelli di elicottero, in particolare:

- Robinson R44, monomotore a pistoni, dotato di rotore bipala, con MTOW pari a 1.089 kg, velocità massima pari a 150 nodi;
- AgustaWestland AW109, bimotores turboshaft, dotato di rotore quadripala, con MTOW pari a 3.000 kg, velocità massima pari a 154 nodi;
- Bell 407, monomotore turboshaft, dotato di rotore quadripala, con MTOW pari a 2.722 kg, velocità massima pari a 140 nodi;
- AgustaWestland AW139, bimotores turboshaft, dotato di rotore pentapala, con MTOW pari a 6.400 kg, velocità massima pari a 170 nodi.

I primi tre modelli sono stati implementati direttamente sul software, essendo già presenti nel database INM, mentre per l'AW139, non incluso nel database, è stato necessario ricostruire il modello sulla base della similitudine dei parametri con modelli analoghi.

Per tutti gli elicotteri sono state simulate le operazioni di decollo, di avvicinamento e atterraggio su una piazzola ipotetica idealizzata all'interno di un eliporto tipo. Come dati di riferimento dell'eliporto, per motivi di praticità, sono stati scelti i parametri dell'aeroporto di Palermo Boccadifalco, sede di attività elicotteristiche operate dalle forze da enti statali. Nel caso di Boccadifalco, la temperatura di riferimento riportata in AIP è di 30,6°C e la pressione media di 750,06 mm/Hg.

In linea con l'obiettivo prefissato, si è scelto di considerare un regime dei venti standard. Per le manovre di avvicinamento si sono ipotizzati due casi: il primo, in cui si ammette una variabilità sul piano orizzontale delle traiettorie di avvicinamento (con dispersione) ed il secondo, in cui questa condizione non viene assunta (senza dispersione).

Nel primo caso, la dispersione considerata, seppur presente, è minima. Ma questa ipotesi è necessaria per tenere conto del fatto che nessun pilota segue alla perfezione la traiettoria prefissata, in qualunque condizione, sia durante la manovra decollo che in quella di avvicinamento.

I profili di discesa sono stati implementati partendo da una quota di riferimento di 1000 piedi e da una velocità pari a quella di crociera. Le fasi di volo che compongono il sentiero che porterà l'elicottero fino al contatto con il suolo sono:

- distanza percorsa in volo livellato;
- volo orizzontale decelerato;
- discesa a velocità costante;
- discesa in decelerazione;
- discesa verticale;
- *flight idle*;
- *ground idle*.

Mantenendo invariate le altre fasi, al fine della simulazione, è stato scelto di far variare gli angoli dei sentieri di discesa a velocità costante e in decelerazione. Analogo procedimento è stato ripetuto per le manovre di decollo. Gli angoli implementati sono rispettivamente di 3°, 6°, 9°, 12°, 18°, 27°, 36°, 45°, 54°, 63°, 72°, 81° e 90°. Evidentemente l'ipotesi di discesa ortogonale rispetto al livello del suolo vuole essere una mera applicazione teorica, essendo, di fatto, una pratica mai eseguita dai piloti in quanto sconveniente sia dal punto di vista della sicurezza e dei consumi che del comfort.

Per quanto concerne il numero di movimenti, è stata ipotizzata una variabilità secondo multipli di 10 fino ad arrivare ad un numero massimo di 100 movimenti giornalieri, situazione limite in ambito eliportuale. Il descrittore acustico scelto per le simulazioni è il DNL, confrontabile direttamente con la metrica utilizzata in Italia L_{VA} .

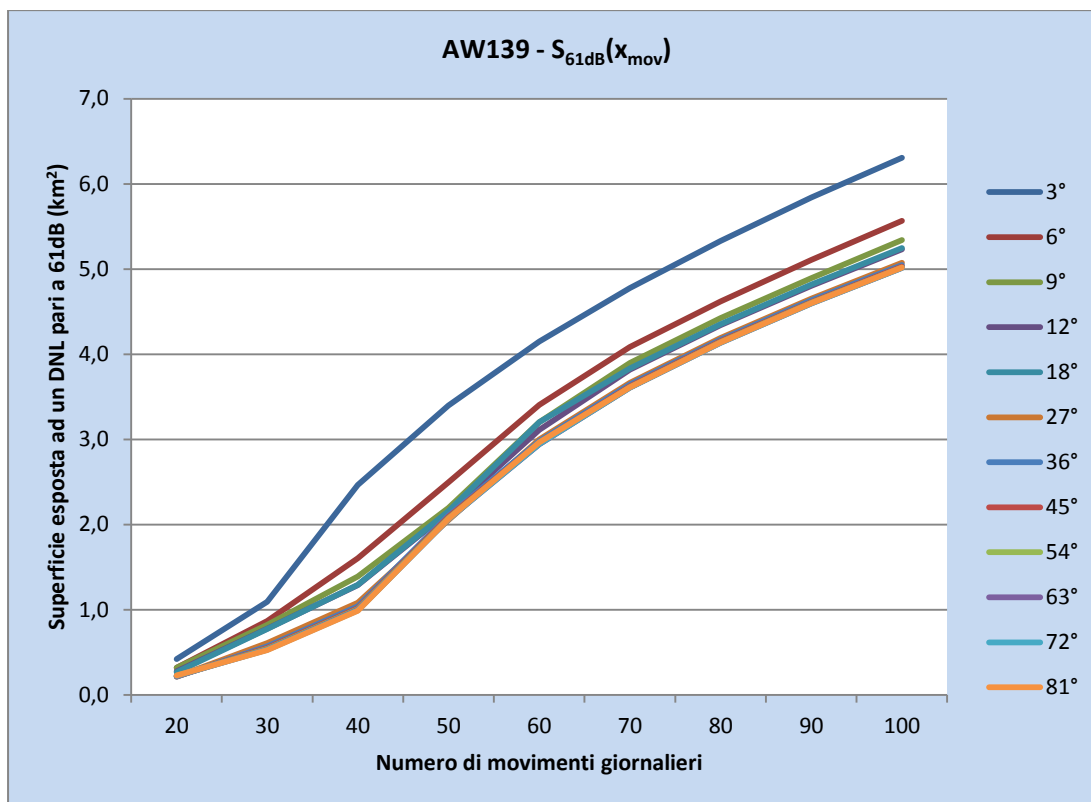


Figura 4.3 – Superfici esposte a 61dB in funzione del numero di movimenti giornalieri

Nelle Figure 4.3, 4.4 e 4.5, si riportano gli andamenti delle aree soggette ad intensità acustica costante in funzione del numero di movimenti giornalieri, con curve parametrizzate in relazione all'angolo del sentiero di discesa, valide per l'AW139.

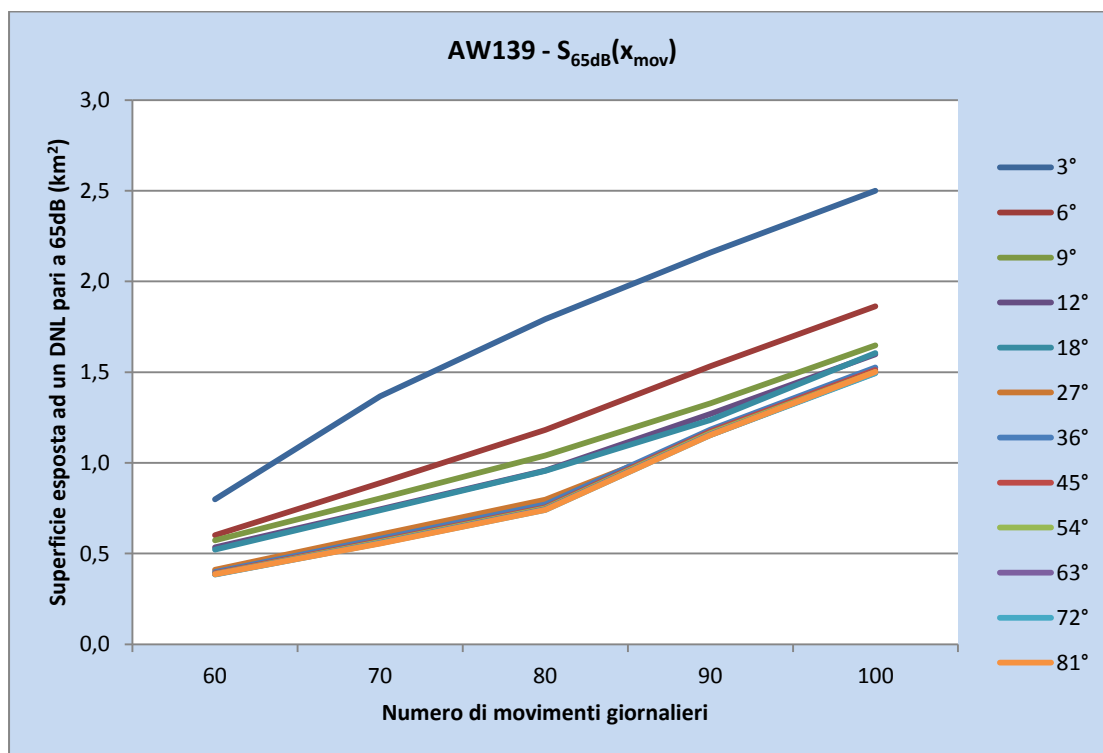


Figura 4.4 – Superfici esposte a 65dB in funzione del numero di movimenti giornalieri

Analogamente sono state ricavate le curve parametrizzate in funzione del numero di movimenti giornalieri, al variare dei differenti valori dell'angolo del sentiero di discesa ipotizzati. Le Figure 4.6, 4.7 e 4.8 riportano gli andamenti di queste curve.

Alla luce dei risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate, vale la pena fare qualche considerazione. Prima di trarre le dovute conclusioni, è bene evidenziare una caratteristica riscontrata in tutte le osservazioni: gli andamenti delle curve, si mantengono grossomodo inalterati per i quattro modelli di elicotteri presi in considerazione. Ciò che varia è evidentemente l'estensione delle superfici isofoniche. Quindi, la variabilità delle superfici sottoposte a livelli di rumore costanti con il numero di movimenti e l'angolo del sentiero di discesa è la medesima, indipendentemente dal tipo di macchina che si prende in considerazione. Questa peculiarità lascia presagire che le relazioni ricavate, a scapito dei parametri di "forma" delle curve, possano valere in linea generale per tutti i modelli di elicotteri presenti sul mercato: evidentemente però i dati in possesso e le sperimentazioni effettuate non sono sufficienti a confermare questa ipotesi, per cui queste considerazioni andrebbero rivalutate alla luce di più accurate e complete sperimentazioni. Per tale motivo e per brevità di trattazione, sono stati omessi i grafici concernenti gli altri tre modelli di velivoli, e le considerazioni effettuate nel seguito valgono per l'AW139. A titolo di esempio, a conferma di quanto appena detto, si riporta in Figura 4.6a l'andamento delle curve parametrizzate in funzione del numero di movimenti giornalieri, al variare dei differenti valori dell'angolo del sentiero di discesa ipotizzati, per l'AW109.

In **Appendice** si riportano invece gli estratti dei risultati ottenuti nelle simulazioni, per i diversi elicotteri.

Come si evince dall'osservazione delle curve, sono stati riportati gli andamenti caratteristici delle superfici esposte a tre livelli di rumore espresso come DNL, rispettivamente 61dB, 65dB e 67dB. Questa scelta è stata dettata da ragioni di carattere pratico. Infatti, la maggior parte delle normative sul rumore aeronautico, ivi inclusa quella nazionale, prescrivono limitazioni dell'uso del suolo e restrizioni delle relative attività ammesse a partire da valori dell'esposizione al rumore prossimi ai 65dB. Proprio per questo è superfluo estendere l'indagine al di sotto di valori del DNL 55dB. Peraltro, valori maggiori di 1 km² delle superfici isofoniche esposte a livelli superiori ai 65 dB si registrano, per questa tipologia di macchina, a partire da un numero di movimenti giornalieri pari a 60. Inoltre, al di sotto dei 10 movimenti giornalieri, non si registrano livelli di rumorosità significativi, tali da creare disturbo alla comunità e comunque, di gran lunga inferiori ai limiti minimi di legge.

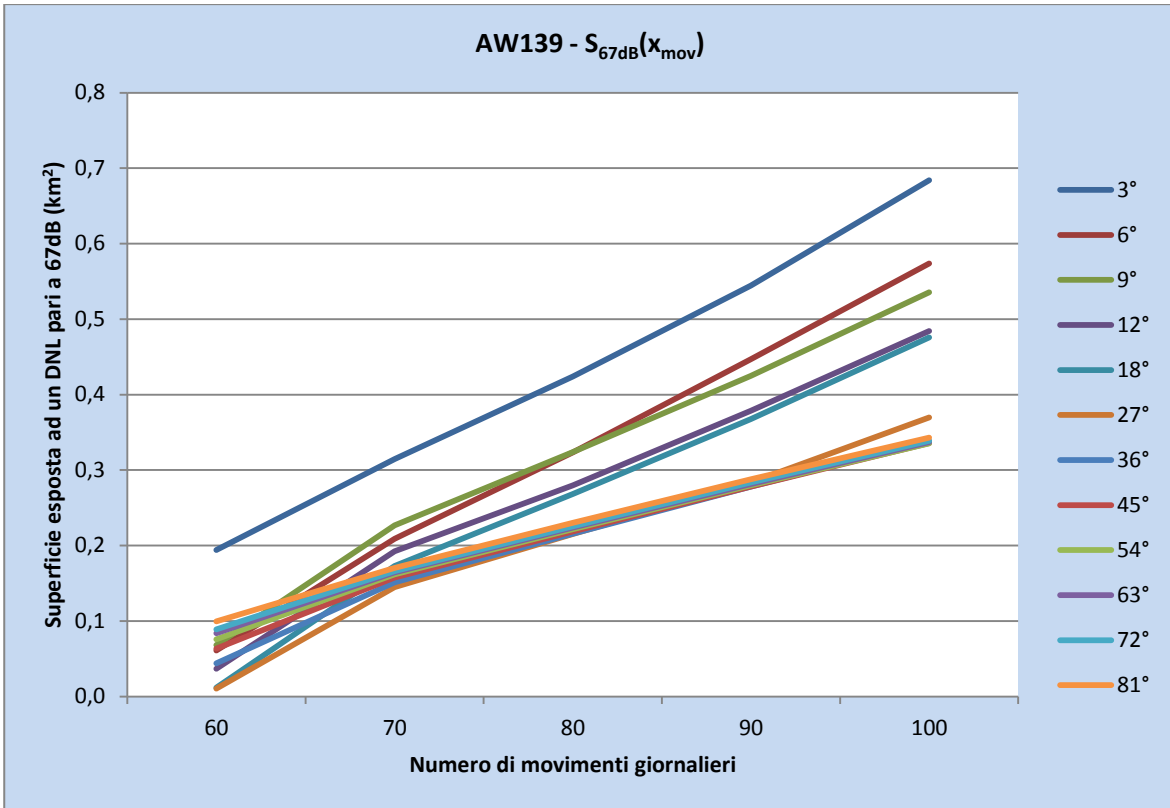


Figura 4.5 – Superfici esposte a 67dB in funzione del numero di movimenti giornalieri

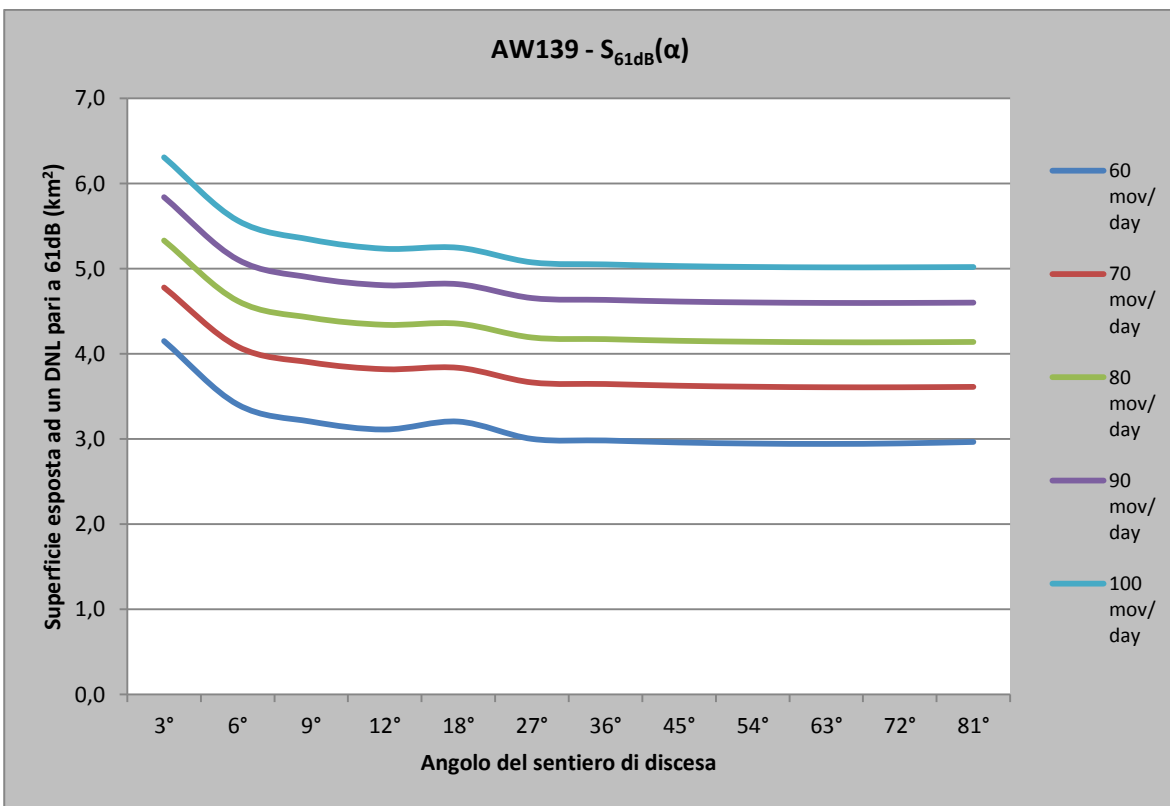


Figura 4.6 – Superfici esposte a 61dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa

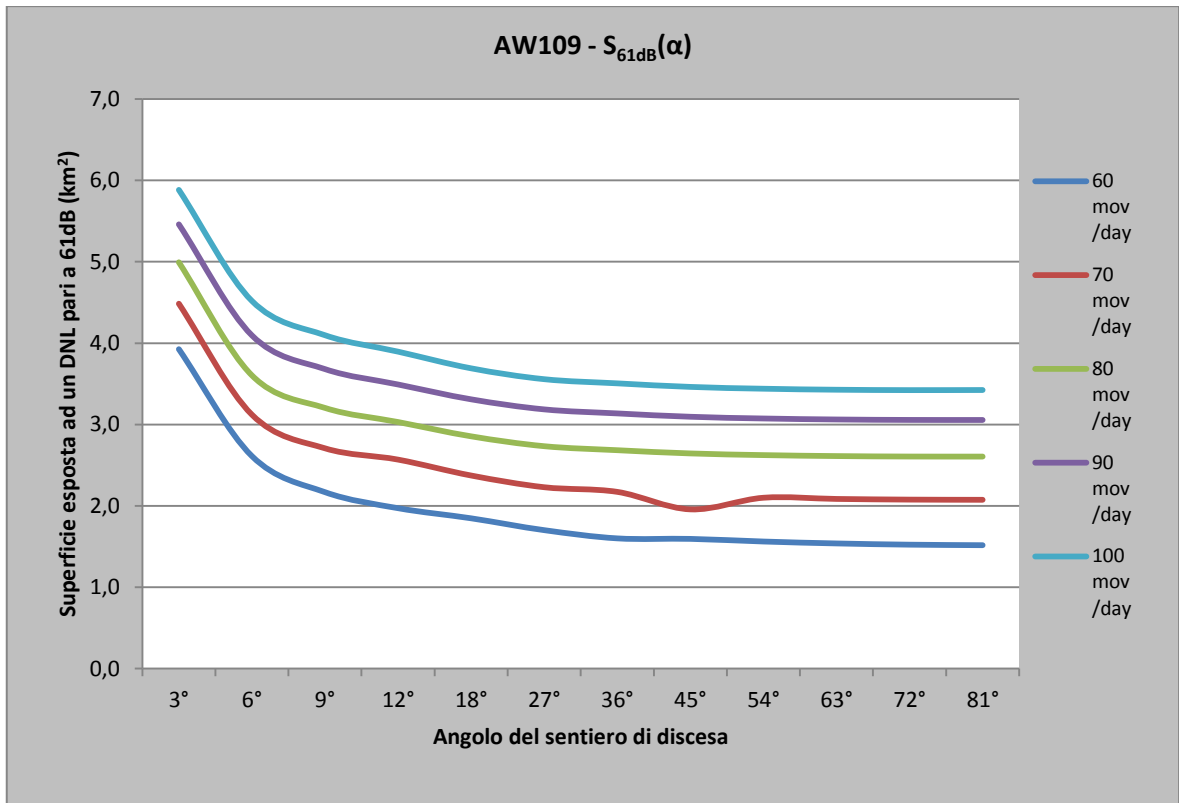


Figura 4.6a – Superfici esposte a 61dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa (AW109)

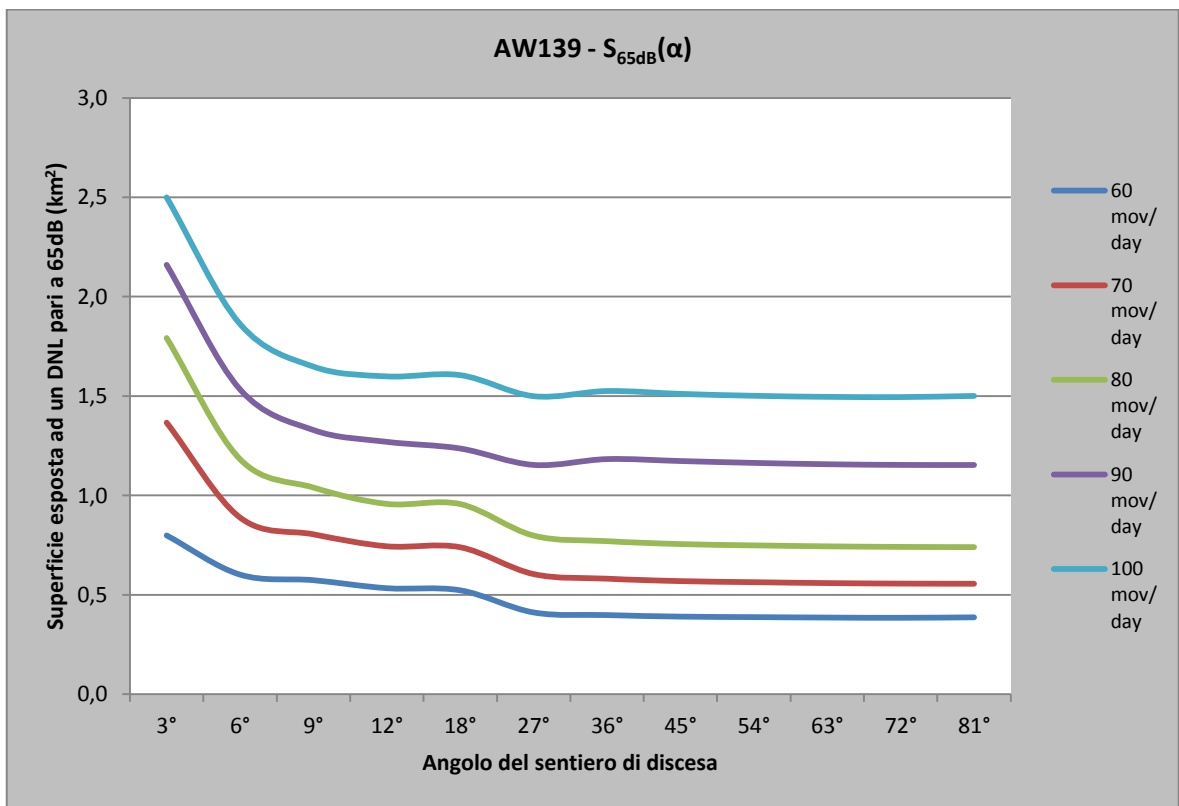


Figura 4.7 – Superfici esposte a 65dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa

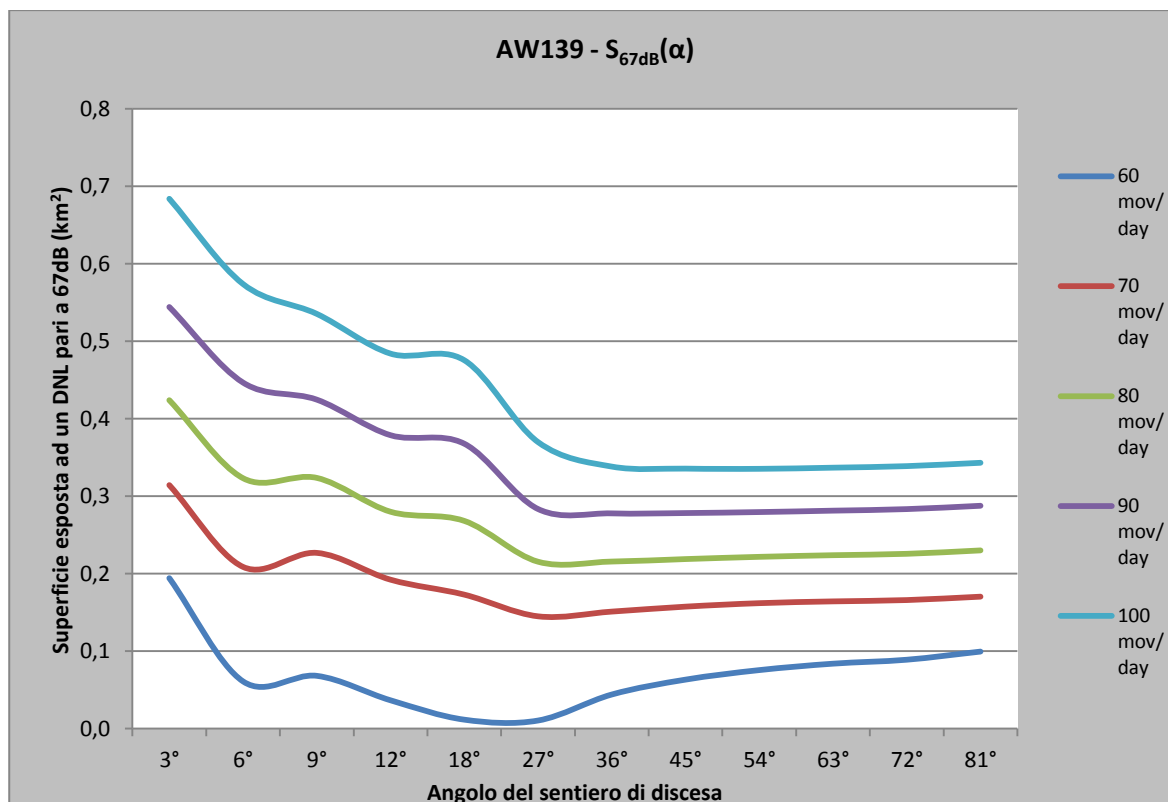


Figura 4.8 – Superfici esposte a 67dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa

Un'osservazione molto interessante è la seguente: le dimensioni della superfici isofoniche non variano significativamente al variare dell'angolo del sentiero di discesa α per valori di $\alpha > 27^\circ$, variando solamente con il numero di movimenti. E si può affermare che questa constatazione è tanto più vera quanto minore è il valore dell'isofona di riferimento e quanto maggiore è il numero di movimenti giornalieri. La Tabella 4.2 conferma la veridicità di questa considerazione: i valori delle differenze percentuali tra due superfici isofoniche calcolate per angoli successivi del sentiero di discesa, tendono allo zero contemporaneamente all'aumentare del numero di movimenti e al diminuire del valore dell'isofona di riferimento. Cautelativamente si può quindi affermare che la ricerca di manovre di discesa eseguite con angoli di inclinazione del sentiero superiori ai 27° non produce effetti benefici dal punto di vista della riduzione dell'estensione delle superfici soggette a rumore. D'altro canto, la maggiore variabilità si registra per piccoli valori dell'angolo del sentiero, in particolare nel range 3° - 27° . E' proprio questo il campo da investigare più approfonditamente.

Una ulteriore conferma di ciò è fornita nelle Figure 4.6, 4.7 e 4.8. Si osserva come le curve si "appiattiscono" a partire dai 27° , a dimostrazione che la variabilità del rumore con l'angolo si annulla da quel punto in poi. Contestualmente, le "fluttuazioni" di tali curve si hanno per piccoli valori dell'angolo, e tendono ad aumentare al crescere del valore del

DNL. Il prossimo paragrafo descrive i risultati di una analisi statistica di primo livello, effettuata al fine di ricercare l'esistenza di una regolarità nelle leggi che reggono la variazione delle estensioni delle superfici isofoniche con i parametri "numero di movimenti giornalieri" e "angolo del sentiero di discesa".

Tabella 4.2 – Variabilità delle superfici isofoniche per valori successivi dell'angolo del sentiero di discesa, in funzione del numero di movimenti giornalieri

Variazione superfici a 61 dB		$\Delta_{6^{\circ}-3^{\circ}}$	$\Delta_{9^{\circ}-6^{\circ}}$	$\Delta_{12^{\circ}-9^{\circ}}$	$\Delta_{18^{\circ}-12^{\circ}}$	$\Delta_{27^{\circ}-18^{\circ}}$	$\Delta_{36^{\circ}-27^{\circ}}$	$\Delta_{45^{\circ}-36^{\circ}}$	$\Delta_{54^{\circ}-45^{\circ}}$	$\Delta_{63^{\circ}-54^{\circ}}$	$\Delta_{72^{\circ}-63^{\circ}}$	$\Delta_{81^{\circ}-72^{\circ}}$
Numero di movimenti giornalieri	60 mov/day	22%	6%	3%	3%	7%	1%	1%	0%	0%	0%	1%
	70 mov/day	17%	5%	2%	0%	5%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
	80 mov/day	15%	4%	2%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	90 mov/day	14%	4%	2%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	100 mov/day	13%	4%	2%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Variazione superfici a 65 dB		$\Delta_{6^{\circ}-3^{\circ}}$	$\Delta_{9^{\circ}-6^{\circ}}$	$\Delta_{12^{\circ}-9^{\circ}}$	$\Delta_{18^{\circ}-12^{\circ}}$	$\Delta_{27^{\circ}-18^{\circ}}$	$\Delta_{36^{\circ}-27^{\circ}}$	$\Delta_{45^{\circ}-36^{\circ}}$	$\Delta_{54^{\circ}-45^{\circ}}$	$\Delta_{63^{\circ}-54^{\circ}}$	$\Delta_{72^{\circ}-63^{\circ}}$	$\Delta_{81^{\circ}-72^{\circ}}$
Numero di movimenti giornalieri	60 mov/day	33%	5%	8%	2%	27%	3%	2%	1%	1%	0%	1%
	70 mov/day	54%	10%	8%	1%	22%	4%	2%	1%	1%	0%	0%
	80 mov/day	52%	14%	9%	0%	20%	4%	2%	1%	1%	0%	0%
	90 mov/day	41%	15%	5%	3%	7%	2%	1%	1%	1%	0%	0%
	100 mov/day	34%	13%	3%	0%	7%	2%	1%	1%	0%	0%	0%
Variazione superfici a 67 dB		$\Delta_{6^{\circ}-3^{\circ}}$	$\Delta_{9^{\circ}-6^{\circ}}$	$\Delta_{12^{\circ}-9^{\circ}}$	$\Delta_{18^{\circ}-12^{\circ}}$	$\Delta_{27^{\circ}-18^{\circ}}$	$\Delta_{36^{\circ}-27^{\circ}}$	$\Delta_{45^{\circ}-36^{\circ}}$	$\Delta_{54^{\circ}-45^{\circ}}$	$\Delta_{63^{\circ}-54^{\circ}}$	$\Delta_{72^{\circ}-63^{\circ}}$	$\Delta_{81^{\circ}-72^{\circ}}$
Numero di movimenti giornalieri	60 mov/day	219%	11%	86%	216%	10%	76%	30%	16%	10%	6%	11%
	70 mov/day	51%	8%	18%	11%	19%	4%	4%	3%	1%	1%	3%
	80 mov/day	31%	0%	16%	4%	24%	0%	1%	1%	1%	1%	2%
	90 mov/day	22%	5%	12%	3%	30%	2%	0%	0%	1%	1%	1%
	100 mov/day	19%	7%	11%	2%	29%	9%	1%	0%	0%	1%	1%

4.5 Analisi statistica dei risultati

Il primo passo dell'analisi è consistito nella ricerca dell'esistenza di una correlazione tra i parametri che entrano in gioco nella valutazione degli effetti delle variabili operative sui livelli di rumorosità. Sono stati calcolati i valori del coefficiente di correlazione di Pearson per i seguenti Set di parametri:

- Set 1 - Superfici isofoniche in funzione del numero di movimenti, per dato valore dell'angolo del sentiero di discesa;
- Set 2 - Superfici isofoniche al variare del numero di movimenti, per coppie di valori differenti dell'isofona di riferimento e per dato valore dell'angolo del sentiero di discesa;

- Set 3 - Superfici isofoniche in funzione dell'angolo del sentiero di discesa, per coppie di valori riferiti allo stesso numero di movimenti di isofone differenti.

In Tabella 4.3 si riportano alcuni valori dei coefficienti calcolati per i 3 Set, validi per l'AW139. Come si può osservare, in tutti e tre i casi si riscontra una forte correlazione tra i gruppi di parametri presi in considerazione. Ciò lascia presumere una forte linearità nelle leggi di variazione delle superfici isofoniche al variare dei parametri operativi.

Tabella 4.3 – Valori dei coefficienti di correlazione di Pearson per i 3 Set di dati

Angolo	3°	6°	9°	12°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°
ρ	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96

Set 1 (per 65dB)

Angolo	3°	6°	9°	12°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°
ρ	0,99	1,00	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97

Set 2 (confronto 65dB-67dB)

Movimenti giornalieri	40	50	60	70	80	90	100
ρ	0,98	0,99	1	1	0,99	1	1

Set 3 (confronto 65dB-61dB)

A tal proposito, è stata condotta un'analisi di regressione lineare per studiare la variabilità delle superfici isofoniche con il numero di movimenti, con il fine di ricavare una relazione unica che possa esprimere la variazione delle superfici con i movimenti, per dato valore dell'angolo di discesa. Da un'attenta osservazione delle Figure 4.3, 4.4 e 4.5 si può notare come a partire da un numero di movimenti giornalieri superiori a 60 l'andamento delle curve risulti pressoché lineare. In Tabella 4.4 si riportano i risultati di questa analisi, condotta per l'isofona di riferimento a 65dB, nel range 60-100 movimenti giornalieri.

Tabella 4.4 – Valori dei parametri di regressione per l'isofona 65dB

	3°	6°	9°	12°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°
R	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
R^2	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96
\bar{R}^2	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
q	-1,63 (-7,7)	-1,32 (-21,3)	-1,11 (-11,4)	-1,11 (-8,1)	-1,12 (-7,4)	-1,29 (-6,6)	-1,39 (-5,9)	-1,39 (-5,8)	-1,39 (-5,7)	-1,39 (-5,7)	-1,39 (-5,7)	-1,39 (-5,6)
β_{mov}	0,04 (16,2)	0,03 (41,5)	0,03 (23,3)	0,03 (15,7)	0,03 (14,2)	0,03 (11,4)	0,03 (9,9)	0,03 (9,6)	0,03 (9,5)	0,03 (9,4)	0,03 (9,3)	0,03 (9,1)

Test t-Student significativi al 95%

Come si può notare, i valori dell'intercetta e del coefficiente angolare si mantengono costanti a partire da un angolo di discesa α pari a 27° . Il test di Fischer sulla significatività globale del modello ha prodotto, in tutti i casi analizzati, risultati che indirizzano verso la linearità delle relazioni. L'equazione che descrive l'andamento delle superfici soggette ad un DNL superiore a 65dB, in funzione dei movimenti giornalieri, valida nei range dei parametri considerati è dunque la seguente (valida evidentemente per il caso dell'AW139):

$$S_{65dB} = -1,39 + 0,03 x_{mov} \quad \text{per } x_{mov} \geq 60 \text{ e } \alpha \geq 27^\circ$$

Relazioni analoghe possono ricavarsi anche per le isofone di riferimento a valori inferiori o superiori a 65dB, in funzione del limite minimo/massimo imposto dalla normativa locale. Come già evidenziato nel precedente paragrafo, conoscere l'andamento delle curve al di sopra di angoli del sentiero di discesa pari a 27° interessa poco ai fini dell'operatività, in quanto le variazioni massime nella riduzione dell'intensità acustica si hanno per piccoli valori di α . In funzione delle condizioni locali e dei limiti, andrebbe quindi valutata la necessità di adottare questo o quell'angolo specifico per il sentiero di discesa e contestualmente, una soglia per il numero di movimenti che l'infrastruttura può "sostenere".

Va precisato che per isofone di valore inferiore, ad esempio quella relativa a 61dB, le superfici isofoniche vengono registrate anche per valori del numero di movimenti inferiori a 60 (fino a 20, nel caso dei 61dB). In questi casi, viene meno l'ipotesi di linearità, e l'andamento delle curve nell'intero range del numero di movimenti (si veda a titolo di esempio la Figura 4.3) andrebbe stimato mediante una regressione polinomiale di grado n . Evidentemente più grande sarà il valore di n , migliore sarà la stima della curva, a discapito del maggiore onere computazionale richiesto.

Si riporta l'equazione della polinomiale di grado 6 per la stima dell'andamento delle superfici a 61dB in funzione del numero di movimenti giornalieri nel range 20-100, per un valore di α pari a 3° , con la quale si ottiene un valore di R^2 pari a 0,9999:

$$S_{61dB} = 0,0005x_{mov}^6 - 0,0175x_{mov}^5 + 0,2282x_{mov}^4 - 1,4896x_{mov}^3 + 4,9637x_{mov}^2 - 6,6871x_{mov} + 3,4193$$

A conclusione di questo paragrafo, si riportano i risultati dell'analisi sperimentale nel caso in cui si prevede una dispersione delle traiettorie di avvicinamento sul piano orizzontale, per tenere conto dell'aleatorietà nell'esecuzione delle manovre da parte dei piloti. In questo caso, si registra una forte variabilità nella riduzione delle superfici, nel range dell'angolo

del sentiero di discesa 3° - 36° , mentre per valori di α superiori, questa riduzione non dipende più dall'angolo ma solamente dal numero di movimenti (Figura 4.9). Si può notare come la variabilità si riduce all'aumentare di α nel range 3° - 9° (e tale riduzione è tanto più marcata quanto minore è il numero di movimenti giornalieri) mentre aumenta da 9° in su. Anche in questo caso, andamenti analoghi si registrano per gli altri modelli di elicotteri presi in considerazione nel corso delle simulazioni.

La Figura 4.10 mostra una comparazione delle superfici isofoniche generate in corrispondenza della FATO localizzata sul sedime dell'aeroporto di Palermo Boccadifalco, avendo ipotizzato un numero di movimenti giornalieri di un AW139 pari a 100 (50 decolli e 50 atterraggi), eseguiti con manovre aventi angoli del sentiero di discesa differenti, rispettivamente 45° il primo e prossimo ai 90° (caso limite) il secondo. Si evince una netta differenza nell'estensione delle superfici e nell'intensità del rumore generato nei due casi. Nel secondo caso, si notano aree soggette a livelli di rumore superiori a 67dB, fino ad 82 dB in corrispondenza della TLOF. Come già specificato, tutto ciò va valutato in relazione alle condizioni locali. Nel caso di Boccadifalco, con 100 movimenti, operazioni eseguite con angoli pari a 45° producono un'impronta acustica di 64 dB che si estende in prossimità dell'agglomerato urbano situato a nord del sedime. Teoricamente, per valori di α prossimi ai 90° , il livello di rumorosità sarebbe intollerabile dalle comunità che risiedono nell'intorno dell'aeroporto. Soluzioni operative potrebbero intraprendersi nella riduzione del numero di movimenti o intervenendo sull'angolo del sentiero di discesa. Soluzioni infrastrutturali potrebbero invece adottarsi prevedendo una rimodulazione della posizione della TLOF sul sedime e/o orientando il sentiero in modo opportuno.

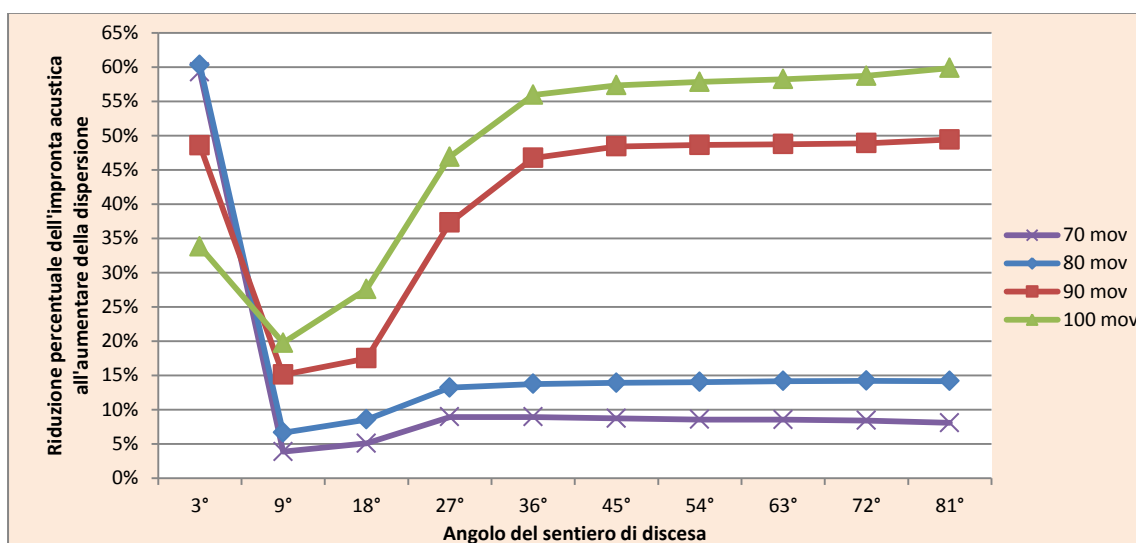


Figura 4.9 – Riduzione percentuale delle superfici esposte a 65dB in funzione dell'angolo del sentiero di discesa per un AW139, nel caso in cui si ipotizza una dispersione nelle traiettorie del sentiero di discesa

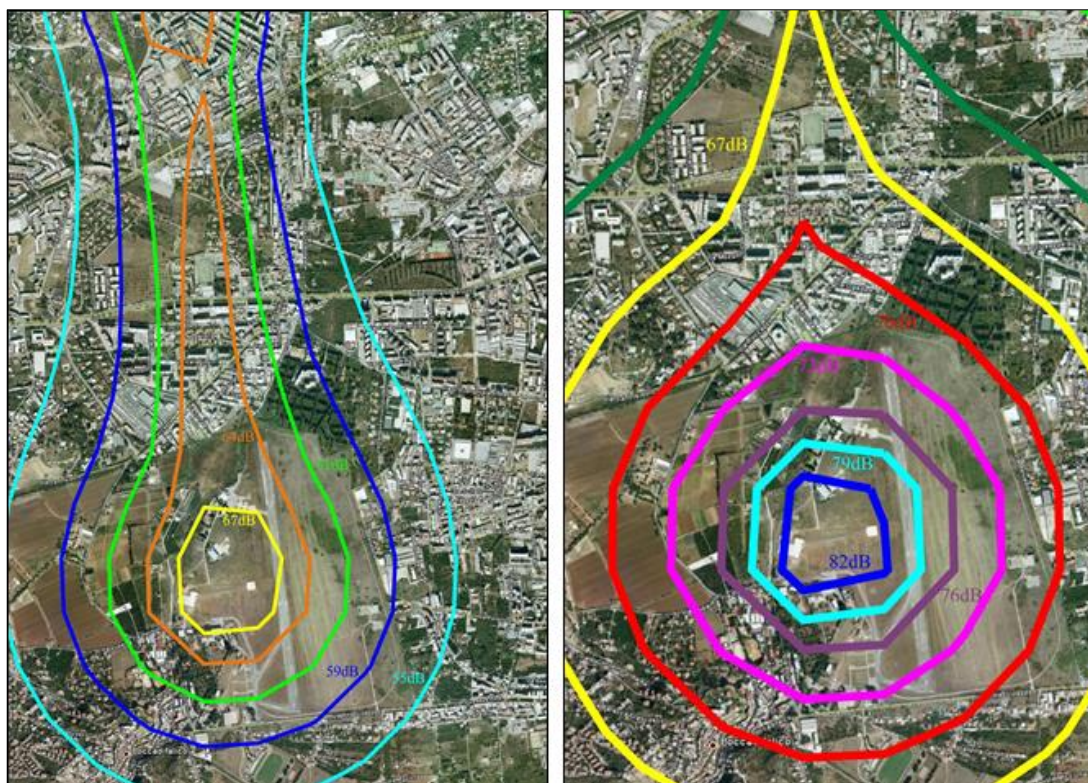


Figura 4.10 – Comparazione tra le superfici isofoniche generate per due diversi valori dell'angolo del sentiero di discesa (45° , a sinistra, 87° , a destra), aeroporto di Bocca di Falco

4.6 Le emissioni atmosferiche degli elicotteri

Così come gli aeromobili, anche gli elicotteri manifestano le problematiche dell'emissione di sostanze inquinanti nell'atmosfera, le cui tipologie e quantità variano secondo il tipo di propulsore installato sulla macchina, da fattori ambientali, dalle manovre effettuate.

E' da rilevare che ad oggi non vengono forniti valori effettivi ed attendibili al 100% sulle emissioni in quanto non vi è la disponibilità di dati sulle caratteristiche inquinanti dei motori e per tale motivo il calcolo è di difficile valutazione. Inoltre, essendo la componente elicotteristica una piccola porzione del traffico aereo, in alcuni casi si è reputato trascurabile il contributo all'inquinamento generato. Alcuni paesi di estensione relativamente contenuta, come ad esempio la Svizzera, hanno però manifestato l'interesse verso l'inclusione degli elicotteri nel fascicolo "emissioni inquinanti". Proprio in Svizzera infatti, tra il 2008 ed il 2009 hanno volato più di 1.000 elicotteri privati, senza contare quelli adibiti ai servizi SAR (ricerca e soccorso), quelli per trasporto passeggeri ed altri per servizi erogati dalle forze dell'ordine.

Per i motivi appena elencati, il contributo all'inquinamento atmosferico degli elicotteri, oggi in alcuni casi trascurabile, tenderà a diventare sempre più significativo nei prossimi decenni. Esistono alcune iniziative, tra le quali la più famosa è quella proposta

dall'iniziativa “*Green Rotorcraft – Clean Sky*” della Comunità Europea nell'ambito del 7° Programma Quadro, volte ad attenuare l'impatto specifico delle operazioni con gli elicotteri. In particolare gli obiettivi sono:

- la riduzione delle emissioni di CO₂ dal 25% al 40% per singola missione;
- la riduzione del rumore percepito al suolo di 10 EPNdB o il dimezzamento dell'impronta acustica al suolo del 50%;
- la garanzia del pieno rispetto delle direttive sulla tutela della salute umana e dell'ambiente da sostanze chimiche nocive.

I progressi tecnologici saranno ottenuti ricercando soprattutto soluzioni sugli impianti elettrici, sull'*ecodesign* dei velivoli e sui motori. Oltre agli effetti diretti, particolare attenzione sarà dedicata alle variazioni nel peso che influiscono notevolmente sia sul consumo del carburante che sulle emissioni.

Tornando agli aspetti connessi all'ambiente, esistono oggi diversi modelli, alcuni dei quali molto accurati, che permettono di risalire ai valori delle emissioni di alcune tipologie di velivoli. Uno dei più accreditati è quello proposto dall'Ufficio Federale dell'Aviazione Civile in Svizzera, il quale ha sviluppato una metodologia sulla base di una serie di misurazioni delle emissioni dei motori di elicotteri effettuate in collaborazione con il “*Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt DLR*”, su dati confidenziali dei costruttori, su manuali d'esercizio di elicotteri e prove di volo. Questo Ente mette a disposizione formule sperimentali opportunamente calibrate per il calcolo delle emissioni di NO_x, HC, CO e PM sulla base del valore SHP (*Shaft Horsepower*) che riflette il numero di cavalli all'albero di trasmissione della turbina degli elicotteri. Le impostazioni temporali e sulla potenza sono state stabilite in base a misurazioni durante i voli effettuati con gli elicotteri o desunti dai manuali di volo. Il parco elicotteri preso in considerazione comprende i modelli a pistoni, monoturbina e biturbina. Le relazioni che permettono di determinare gli indici di emissione per le singole sostanze inquinanti sono le seguenti:

$$EI_{NO_x} \left[\frac{g}{kg} \right] = 0,2113(SHP)^{0,5677}$$

$$EI_{HC} \left[\frac{g}{kg} \right] = 3819(SHP)^{-1,0801}$$

$$EI_{CO} \left[\frac{g}{kg} \right] = 5660(SHP)^{-1,11}$$

$$EI_{PM} \left[\frac{g}{kg} \right] = -4,8 \times 10^{-8}(SHP^2) + 2,3664 \times 10^{-4}(SHP) + 0,1056$$

Il calcolo delle emissioni è basato sulla seguente relazione:

$$Emissione [g] = EI \left[\frac{g}{kg} \right] \times Consumo di carburante [kg]$$

La Tabella 4.5 mostra un estratto dei valori di emissioni calcolati per alcune tipologie di elicotteri, validi per un'ora di volo.

Tabella 4.5 – Valori delle emissioni di alcune sostanze inquinanti per un'ora di volo (Fonte: Swiss FOCA)

<i>Modello elicottero</i>	<i>Carburante (kg)</i>	<i>NOx (kg)</i>	<i>HC (kg)</i>	<i>CO (kg)</i>	<i>PM non vol. (kg)</i>
AGUSTA A109	210	1,11	1,74	2,17	0,036
AGUSTA A139	412	3,54	1,37	1,67	0,101
SUPER PUMA	491	5,60	0,95	1,14	0,153
BELL 206L	117	0,70	0,77	0,96	0,022
EC 135	259	1,67	1,49	1,84	0,051
SIKORSKY S76	348	2,87	1,24	1,52	0,082

In aggiunta, vengono prodotti in quantità minore anche CO₂ e vapore acqueo: per i combustibili utilizzati in aviazione sono stati stimati valori degli indici di emissione rispettivamente pari a 3.160 g/kg (CO₂) e 1.230 g/kg (H₂O).

Recenti studi e progetti di ricerca hanno riguardato modelli e metodi per la stima dei consumi di carburante e delle emissioni atmosferiche, fornendo considerazioni preliminari sull'impatto ambientale generato dagli elicotteri durante una missione specifica (vedi Linares Bejarano). Tali studi sono ovviamente correlati alla ricerca dei parametri ottimali che permettono al pilota di seguire una traiettoria “a basso impatto ambientale” tramite una procedura di ottimizzazione multi-obiettivo. Anche in questo caso però, lo studio è limitato ad un singolo modello di elicottero e prende in considerazione solo alcune casistiche specifiche come scenari di simulazione.

CAPITOLO 5

Valutazione dell'efficienza delle infrastrutture eliportuali

Premessa

Questo capitolo si propone di analizzare l'efficienza di alcuni aeroporti nazionali caratterizzati da domanda di traffico debole, attraverso la metodologia della *Data Envelopment Analysis* (DEA), prendendo in considerazione come input, parametri prettamente infrastrutturali caratterizzanti il land-side e l'air-side o riferiti a proprietà trasportistiche degli scali. L'obiettivo dello studio è quello di mettere in luce la scarsa produttività di alcune infrastrutture aeroportuali in relazione al consumo di risorse, *in primis* il suolo occupato, alla luce delle considerazioni emerse dall'applicazione di modelli per la valutazione dell'efficienza.

L'analisi vuole far riflettere sulla possibilità di convertire una parte delle infrastrutture aeroportuali nazionali a basso traffico in eliporti o piattaforme STOL, capaci da un lato di sfruttare al meglio gli spazi per la movimentazione dei velivoli e dei passeggeri e quindi di massimizzare l'efficienza delle unità decisionali ovvero delle infrastrutture stesse e dall'altro, di determinare, attraverso la creazione di una rete di terminali idonei e strategicamente distribuite nel territorio, lo sviluppo del mercato civile passeggeri con l'uso dei mezzi ad ala rotante con i loro requisiti utili a favorire la mobilità in aree scarsamente dotate di infrastrutture di trasporto.

5.1 Considerazioni introduttive sulla metodologia DEA

La *Data Envelopment Analysis* è un metodo impiegato per la misurazione dell'efficienza di un determinato gruppo di unità decisionali (DMU – *Decision Making Unit*) quali ad esempio scuole, imprese, aziende, ospedali ed infrastrutture pubbliche o private. Essa deriva dalla ricerca operativa ed è stata introdotta nella teoria della programmazione lineare nel 1978 da Charnes, Cooper e Rhodes con la pubblicazione “*Measuring the efficiency of decision making units*”. Il modello sviluppato prese il nome degli autori (CCR) e fu modificato nei primi anni '80 da Banker, Charnes e Cooper i quali, elaborando il modello BCC, rimossero l'ipotesi di ritorni di scala costanti (CRS – *Constant Returns to Scale*) che vinco-

lava il modello CCR, pensato inizialmente per la misurazione dell'efficienza "tecnica" ossia il confronto tra il processo di produzione effettivamente realizzato e un altro processo corrispondente ad uno standard di ottimalità. La metodologia CCR non consentiva, infatti, di ricavare l'efficienza "allocativa", ossia la proprietà di un'unità decisionale di combinare input ed output tenendo conto dei prezzi dei mercati e degli obiettivi del produttore. Dagli anni '90 in poi si è registrato un perfezionamento della tecnica e ad un contestuale riconoscimento della DEA come metodologia efficace per l'analisi dei dati. Parallelamente sono stati sviluppati diversi codici di calcolo più o meno sofisticati, in grado di analizzare *in real time* una grande mole di dati e di unità decisionali presenti nei casi reali e di larga scala.

La metodologia si basa sul concetto della valutazione dell'efficienza del processo produttivo di una DMU attraverso la definizione di una quantità di input, di unità di misura e parametri e di leggi e vincoli che regolano il processo medesimo ed infine, degli output del sistema (Figura 5.1). Evidentemente un processo è più efficiente di un altro se, a parità di input, è in grado di produrre una quantità di output maggiore ovvero se, a parità di output, utilizza una quantità di risorse (input) minore. Le unità decisionali "empiricamente" efficienti si troveranno quindi su una frontiera che rappresenterà un *benchmark* di riferimento per il calcolo dell'efficienza di tutte le DMU esaminate e costituirà contestualmente un *target* per tutte le unità inefficienti (*efficiency reference set* o *peer group*). Evidentemente il *peer group* di un'unità inefficiente potrà variare a seconda della metodologia scelta per la ricerca dell'ottimalità ovvero se si sceglierà di ridurre gli input a parità di output o viceversa di aumentare gli output a parità di input.

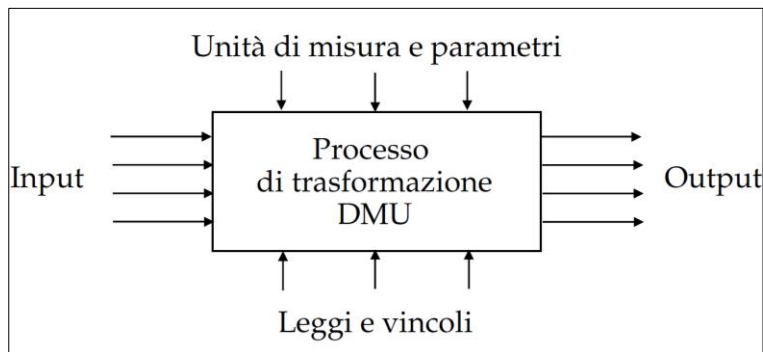


Figura 5.1 – Schema concettuale della metodologia DEA

Per tale motivo la scelta principale del modello si basa sulla possibilità di ottimizzare la produzione minimizzando gli input a parità di output (modelli *input-oriented*) o massimizzando gli output a parità di input (modelli *output-oriented*). Va precisato però che nel caso di modelli caratterizzati da CRS, l'efficienza non varia a seconda della scelta dell'uno o dell'altro orientamento, peculiarità che invece riguarda i modelli con ritorni di scala varia-

bili. Per questo motivo è fondamentale il lavoro preliminare dell'analista, soprattutto nella fase di scelta degli input e degli output da utilizzare e nella definizione del modello che più si presta all'analisi da effettuare. I modelli di base della DEA e le ipotesi annesse sono riassunti in Tabella 5.1. In seguito, come già specificato in precedenza, sono state sviluppate delle evoluzioni di questi modelli che introducono ulteriori ipotesi funzionali e matematiche.

Tabella 5.1 – Modelli DEA di base

Relazione input-output	Orientamento		
	Input	Output	Entrambi
CRS (Ritorni di scala costanti)	CCR_{INPUT}	CCR_{OUTPUT}	Additivo
VRS (Ritorni di scala variabili)	BCC_{INPUT}	BCC_{OUTPUT}	Additivo

La DEA è una metodologia flessibile che può essere applicata in contesti differenti tra loro e con diversi scopi. Tuttavia, come la quasi totalità delle metodologie della ricerca operativa, presenta punti di forza e di debolezza. Tra i punti di forza si distinguono:

- la possibilità di investigare su singole osservazioni e non su quelle della media;
- la produzione di una misura aggregata dell'efficienza per ciascuna DMU attraverso l'utilizzo di variabili note quali i fattori produttivi ed i servizi prodotti;
- la possibilità di superare il problema delle differenti unità di misura dei parametri utilizzati e di valutare l'efficienza di unità operative omogenee;
- la possibilità di utilizzare variabili *dummy*;
- la possibilità di individuare la combinazione migliore dei fattori produttivi.

Inoltre va aggiunto che la DEA è un metodo non parametrico per la stima delle frontiere di produzione e per tale motivo può essere utilizzata nel confronto di unità decisionali la cui funzione di produzione non è nota a priori.

Tra i punti deboli si distinguono invece:

- l'impossibilità di fornire una valutazione assoluta dell'efficienza della singola unità produttiva e dunque che tutte le unità risultino inefficienti;
- la necessità di considerare un solo valore per ciascuno degli input e degli output, con il rischio di incorrere in errori di misurazione e/o approssimazione;
- la necessità di disporre di un numero di unità decisionali superiore alla somma degli input e degli output affinché possa avvenire una distinzione significativa delle DMU efficienti da quelle inefficienti;
- l'estrema sensibilità che caratterizza la frontiera efficiente.

5.2 Il modello CCR

Prima di entrare nel merito della formulazione analitica dei modelli DEA di base è bene chiarire la notazione che verrà utilizzata nel seguito, valida in modo univoco. In particolare, per tutti i modelli DEA, si distinguono:

$j = 1, 2, \dots, n$	unità decisionali (DMU)
$i = 1, 2, \dots, m$	input
$r = 1, 2, \dots, s$	output
x_{ij}	quantità dell'input i per la DMU j
y_{rj}	quantità dell'output r per la DMU j
v_i, v_i	pesi dell'input i rispettivamente nel problema fratto e lineare
u_r, μ_r	pesi dell'output r rispettivamente nel problema fratto e lineare
λ_j	peso relativo alla j -esima DMU nel modello dell'involuppo
DMU _o	DMU sotto valutazione
s_i^-	slack associata all'input i
s_r^+	slack associata all'output r
*	apice che indica i valori ottimi delle quantità
θ, ϕ	valori dell'efficienza rispettivamente nei modelli <i>input ed output oriented</i>

Il primo modello teorizzato è, come già specificato, il CCR. In questo modello, per ciascuna DMU, si ricercano i pesi ottimi degli input e degli output in modo tale da massimizzare la seguente quantità:

$$\frac{\text{output virtuale}}{\text{input virtuale}} = \frac{u_1 y_{1o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo}}$$

I pesi ottimi in genere variano tra le DMU. Con lo scopo di effettuare delle comparazioni, si sceglie un determinato set di DMU per la valutazione di ogni singola unità decisionale con tutte le altre. Si supponga di avere n DMU. I criteri per la scelta degli input e degli output per ognuna delle n DMU sono i seguenti:

- completa disponibilità di valori numerici per ogni input e output, assunti non negativi per ciascuna DMU;
- ciascun input, output e DMU deve riflettere l'interesse dell'analista verso la valutazione comparativa dell'efficienza;

- in linea di principio, sono preferibili piccole quantità di input e grandi quantità di output;
- le unità di misura dei differenti input e output possono essere incongruenti tra loro.

La metodologia fornisce valori attendibili per le efficienze quando il numero delle DMU è maggiore della somma degli input e degli output. Golany & Roll hanno teorizzato una relazione per identificare il numero minimo di DMU da prendere in considerazione nell'analisi:

$$N_{DMU}^{min} = \max \{m \times s; 3(m + s)\}$$

Una volta scelte le DMU ed i parametri di input ed output, si valuta l'efficienza di ogni singola DMU attraverso n ottimizzazioni, una per ognuna delle DMU. A tal fine vanno dunque risolti i problemi di ottimizzazione frazionari per ottenere i valori dei pesi ottimi. La formulazione matematica per una delle n DMU è la seguente:

$$\begin{aligned} \max_{v,u} \theta &= \frac{u_1 y_{1o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo}} \\ \frac{u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj}} &\leq 1 \quad (j = 1, \dots, n) \\ v_1, v_2, \dots, v_m &\geq 0 \\ u_1, u_2, \dots, u_s &\geq 0 \end{aligned} \quad (5.1)$$

L'obiettivo è ottenere quel set di pesi ottimali che massimizzano il rapporto tra le combinazioni lineari dei pesi virtuali degli output e degli input della DMU_o. Per via del vincolo, il valore ottimo della funzione obiettivo (θ^*) può assumere come valore massimo l'unità. Il problema di ottimizzazione frazionario può risciversi nella forma lineare come segue:

$$\begin{aligned} \max_{\mu,v} \theta &= \mu_1 y_{1o} + \dots + \mu_s y_{so} \\ v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo} &= 1 \\ \mu_1 y_{1j} + \dots + \mu_s y_{sj} &\leq v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj} \quad (j = 1, \dots, n) \\ v_1, v_2, \dots, v_m &\geq 0 \\ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s &\geq 0 \end{aligned} \quad (5.2)$$

Si dimostra che i due problemi, quello frazionario e quello lineare, sono equivalenti, e che i valori ottimi θ^* nei due problemi sono indipendenti dalle unità di misura degli input e degli output. Si dice che la DMU_o è CCR-efficiente se viene soddisfatta la condizione $\theta^*=1$ e dunque esiste almeno una coppia di valori ottimi dei pesi (v^*, u^*) positivi. Altrimenti la DMU_o è inefficiente secondo il modello CCR. La condizione di inefficienza secondo il

modello CCR si ha quando $\theta^* < 1$ oppure $\theta^* = 1$ ed esiste almeno una coppia di valori ottimi dei pesi (v^*, u^*) che assume valore nullo per ogni soluzione ottima.

Si consideri il caso di una DMU che presenti $\theta^* < 1$. In questo caso vi sarà almeno un vincolo per il quale i pesi (v^*, u^*) produrranno uguaglianza (a destra e a sinistra) nella (5.2), altrimenti, se così non fosse, θ^* potrebbe crescere. Si consideri il set costituito dalle DMU $j \in \{1, \dots, n\}$ denominato $E'_o = \{j: \sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj} = \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}\}$. Il sottogruppo E_o di E'_o composto dalle DMU CCR-inefficienti è denominato *efficiency reference set* o *peer group* della DMU_o. È proprio l'esistenza di questo set che “forza” la DMU_o ad essere inefficiente. L'insieme costituito dagli E_o viene denominato *frontiera efficiente* della DMU_o.

Il modello (5.2) prende il nome di *problema dei moltiplicatori*. Tuttavia, come in ogni problema di Ricerca Operativa, è possibile scrivere la forma duale della (5.2), nel seguente modo:

$$\begin{aligned}
 & \min \theta_o \\
 & \theta_o x_{io} \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \quad i=1,2,\dots,m \\
 & y_{ro} \leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \quad r=1,2,\dots,s \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad \forall j
 \end{aligned} \tag{5.3}$$

avendo introdotto i pesi λ_j riferiti alle DMU. Questa forma funzionale, nota come *problema dell'inviluppo*, è la più utilizzata, soprattutto in presenza di grandi quantità di input ed output, proprio per la rapidità di calcolo. La Tabella 5.2 mostra la corrispondenza tra il problema dei moltiplicatori ed il problema dell'inviluppo per il modello CCR.

Tabella 5.2 – Corrispondenza tra problema CCR primale e duale (forma matriciale)

Vincolo problema primale	Variabile duale	Vincolo problema duale	Variabile primale
$vx_o = \mathbf{1}$	θ	$\theta x_o - X\lambda \geq 0$	$v \geq 0$
$-vX + uY \leq 0$	$\lambda \geq 0$	$Y\lambda \geq y_o$	$u \geq 0$

Il problema dell'inviluppo ha come soluzione ammissibile $\theta=1, \lambda_o=1, \lambda_j=0 (j \neq o)$. Dunque si ha anche in questo caso che $\theta^* \leq 1$. D'altro canto, il vincolo $y_{ro} \leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j$ impone che il vettore λ sia diverso da zero (se si impone che gli input e gli output siano positivi). Da qui risulta che θ deve essere maggiore di zero. In definitiva, si ottiene $0 < \theta^* \leq 1$. Nel problema duale, si ricerca una soluzione che garantisca almeno il livello di output y_o per la DMU_o in tutte le componenti, riducendo proporzionalmente (radialmente) il vettore di input x_o fino al più piccolo valore possibile. Sotto questa ipotesi si può notare che $(X\lambda, Y\lambda)$

supera $(\theta \mathbf{x}_o, \mathbf{y}_o)$ quando $\theta^* \leq 1$. Con riferimento a questa proprietà, si identificano gli eccessi di input s_i^- e le carenze di output s_r^+ come *slack*:

$$\begin{aligned} s_i^- &= \theta x_{io} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j & i=1,2,\dots,m \\ s_r^+ &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{ro} & r=1,2,\dots,s \end{aligned} \quad (5.4)$$

Per individuare le *slack* di input ed output, andrebbe risolto un problema suddiviso in due fasi, la prima delle quali necessaria a ricavare θ^* e la seconda per sostituire tale valore nelle (5.4): l'obiettivo della seconda fase è dunque quello di ricavare una soluzione che massimizzi la somma degli eccessi di input e delle carenze di output mantenendo $\theta = \theta^*$. Per semplicità di calcolo, il problema con le due fasi può essere superato introducendo un infinitesimo $\varepsilon > 0$ e riscrivendo la (5.3) e la (5.4) nel seguente modo:

$$\begin{aligned} \min \theta_o - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\ \theta_o x_{io} &= \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- & i=1,2,\dots,m \\ y_{ro} &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ & r=1,2,\dots,s \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+ &\geq 0 & \forall i, r, j \end{aligned} \quad (5.5)$$

La DMU_o è CCR-efficiente (*efficienza tecnica o radiale* o di *Pareto-Koopmans*) se contemporaneamente $\theta^* = 1$ e tutte le variabili di *slack* assumono valore nullo. Potrebbe verificarsi il caso in cui $\theta^* = 1$ e alcune variabili di *slack* assumono valore non nullo. In questo caso si parla di *efficienza debole*. Se non vi sono DMU debolmente efficienti, le variabili di *slack* si calcolano nel seguente modo:

$$\begin{aligned} s_i^- &= \theta^* x_{io} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j & i=1,2,\dots,m \\ s_r^+ &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{ro} & r=1,2,\dots,s \end{aligned} \quad (5.6)$$

Per una DMU_o debolmente efficiente è dunque possibile definire il *peer group* precedentemente accennato, nel seguente modo:

$$E_o = \{j \mid \lambda_j^* > 0\} \quad (j \in \{1, \dots, n\})$$

I modelli (5.3) e (5.5) sono di tipo *input-oriented* poiché presuppongono di minimizzare gli input mantenendo costanti i livelli di output. La (5.7) mostra il modello CCR di tipo *output-oriented* il cui obiettivo è esattamente l'opposto: massimizzare gli output mantenendo costanti i livelli di input delle DMU.

$$\begin{aligned}
 & \max \phi_o + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 x_{io} &= \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- & i=1,2,\dots,m \\
 \phi_o y_{ro} &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ & r=1,2,\dots,s \\
 & \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 & \forall i, r, j
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

L'utilizzo dell'uno o dell'altro modello dipende evidentemente dall'obiettivo prefissato dall'analista. Nel caso del modello (5.7) si nota che $\phi^* \geq 1$ e che, più grande è il valore di ϕ^* , meno efficiente è la DMU. Dunque, mentre θ^* esprime il tasso di riduzione dell'input, ϕ^* rappresenta il tasso di incremento dell'output. Si può dimostrare che una DMU è efficiente secondo il modello CCR *input-oriented* se e solo se questa è efficiente secondo il modello CCR *output-oriented*. Nel modello CCR, proprio per l'ipotesi di ritorni di scala costanti, l'efficienza non varia se si utilizza un orientamento piuttosto che l'altro. Questa variazione interessa i modelli con ritorni di scala variabili (VRS - *Variable Returns to Scale*), di cui si parlerà nel prossimo paragrafo.

5.3 Il modello BCC

L'ipotesi di CRS che caratterizza il modello CCR, implica la seguente proprietà: se (x, y) rappresenta un punto ammissibile del piano della produzione, allora (tx, ty) è ancora un punto ammissibile dello stesso piano, essendo t un qualunque scalare positivo. Tale proprietà caratterizza la frontiera delle DMU nel modello CCR.

Il modello BCC modifica questa ipotesi introducendo una frontiera di produzione individuata dall'involucro convesso delle DMU: in questo caso, infatti, la frontiera è lineare a tratti e sempre convessa. Questa caratteristica deriva dall'ipotesi di ritorni di scala variabili (VRS). Il modello BCC differisce dal CCR esclusivamente per la presenza del vincolo di convessità $\sum \lambda = 1$. La formulazione matematica del problema dell'involucro del modello BCC *input-oriented*, scritta nella forma che permette di fondere le due fasi in una, è la seguente:

$$\begin{aligned}
 & \min \theta_o - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 \theta_o x_{io} &= \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- & i=1,2,\dots,m \\
 y_{ro} &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ & r=1,2,\dots,s
 \end{aligned} \tag{5.8}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall i, r, j$$

Il problema dei moltiplicatori associato può invece scriversi nella seguente forma:

$$\begin{aligned} \max z &= \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_o \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_o &\leq 0 \quad j=1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1 \\ v_i &\geq \varepsilon \quad u_r &\geq \varepsilon \quad u_o \text{ libera} \end{aligned} \quad (5.9)$$

La corrispondenza tra i due problemi è evidenziata nella Tabella 5.3.

Tabella 5.3 – Corrispondenza tra problema BCC primale e duale (forma matriciale)

Vincoli problema dell'involuppo	Variabili problema dei moltiplicatori	Vincoli problema dei moltiplicatori	Variabili problema dell'involuppo
$\theta_B x_o - X\lambda \geq 0$	$v \geq 0$	$v x_o = 1$	θ
$Y\lambda \geq y_o$	$u \geq 0$	$-vX + uY - u_o e \leq 0$	$\lambda \geq 0$
$e\lambda = 1$	u_o		

Se una soluzione ottima $(\theta_{BCC}^*, \lambda^*, s^{*-}, s^{*+})$ ottenuta nelle due fasi del modello BCC soddisfa la condizione $\theta_{BCC}^*=1$, $s^{*-}=0$ e $s^{*+}=0$, allora la DMU_o è BCC-efficiente, altrimenti è BCC-inefficiente. Si può notare che è sempre $\theta_{BCC}^* \geq \theta_{CCR}^*$ per via del vincolo di convessità, per cui la regione ammissibile per il modello BCC è un sottoinsieme di quella del modello CCR. Per facilitare la comprensione della differenza tra le frontiere CRS e VRS si propone un esempio grafico. Con riferimento alla Figura 5.2, la curva BCG coincide con una funzione di produzione caratterizzata da VRS mentre la retta coinciderebbe con la frontiera efficiente se il modello fosse caratterizzato da CRS. Si nota che l'unità decisionale A è non efficiente. Il confronto del punto A deve avvenire con il punto C nel caso di modello *output-oriented* e con il punto B nel caso di modello *input-oriented*. Le efficienze tecniche pure nei due casi sono rispettivamente $E_I^A = x_B/x_A$ nel caso di orientamento all'input e $E_I^B = y_C/y_A$ nel caso di orientamento all'output. Dal confronto dei modelli CRS e VRS si nota che la produttività media data dal rapporto y_j/x_j rimane costante nel caso di CRS mentre varia punto per punto sulla frontiera VRS. Il punto caratterizzato da produttività media più elevata lungo la curva VRS è proprio il punto di tangenza con la retta CRS e

viene definito da Banker come MPSS (*Most Productive Scale Size*). L'efficienza di scala in ogni punto appartenente alla frontiera efficiente si ottiene rapportando la produttività media di quel punto con quella del MPSS. Per il punto A, per inciso, si avrà una efficienza di scala pari a x_B/x_D . L'efficienza tecnica pura si ottiene dal prodotto delle due efficienze (*tecnica e di scala*) e per il punto A risulta essere pari a:

$$\frac{x_D}{x_A} \times \frac{x_B}{x_D} = \frac{x_B}{x_A}$$

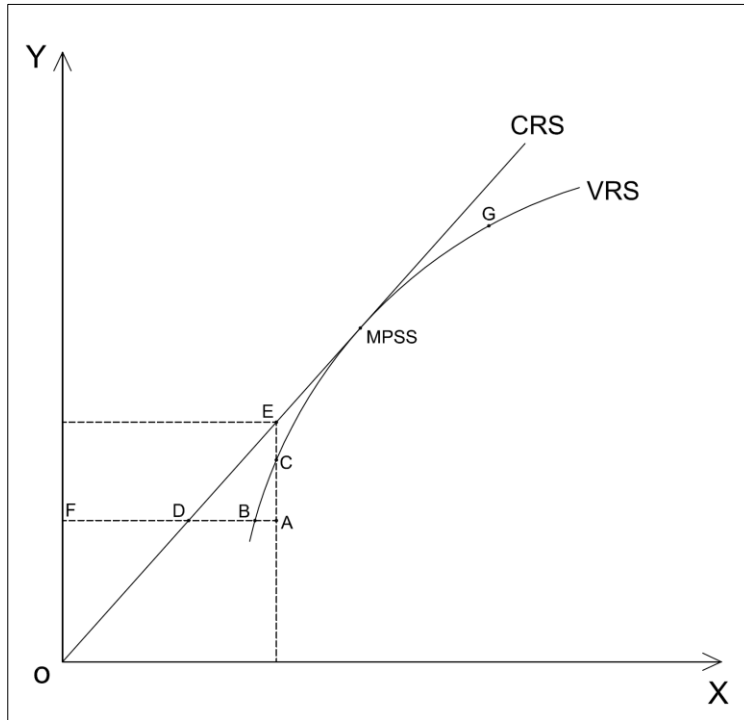


Figura 5.2 – Confronto tra le frontiere CRS e VRS

Per i motivi appena elencati, valgono le seguenti relazioni:

$$TE [Efficienza\ tecnica] = PTE [Efficienza\ tecnica\ pura] \times SE [Efficienza\ di\ scala]$$

L'efficienza di scala è data dunque da:

$$SE = \frac{\theta_{CCR}^*}{\theta_{BCC}^*} \leq 1$$

Evidentemente, se una data DMU presenta un'efficienza calcolata con il modello BCC pari all'unità ed un valore basso della stessa calcolata, invece, con il modello CCR, questa sta operando in modo efficiente localmente ma non globalmente, proprio a causa della scala di produzione. L'efficienza di scala serve dunque a comprendere le cause delle inefficienze: queste possono, infatti, scaturire dal fatto che una DMU stia operando male a livello locale oppure da condizioni svantaggiate che derivano dalla scala delle operazioni.

5.4 Altri modelli DEA per la valutazione dell'efficienza

Nel corso degli anni trascorsi dall'ideazione dei primi modelli DEA, sono state sviluppate diverse formulazioni ed estensioni dei problemi di base, che includono vincoli o ipotesi aggiuntive a questi ultimi. L'obiettivo di questo paragrafo è quello di fornire al lettore una panoramica su alcuni dei modelli più adoperati nella valutazione dell'efficienza in ambito aeronautico. Sono stati omessi, per inciso, i modelli che esulano dagli scopi di questo lavoro. Per ulteriori approfondimenti sui modelli citati o sugli altri modelli ad essi correlati si rimanda alla letteratura scientifica del settore.

5.4.1 Modello BCC *output-oriented*

Tale modello si propone di massimizzare gli output prodotti da una data DMU sotto valutazione. La forma funzionale è la seguente:

$$\begin{aligned}
 & \max \phi_o + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 & x_{io} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- \quad i=1,2,\dots,m \\
 & \phi_o y_{ro} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \quad r=1,2,\dots,s \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall i, r, j
 \end{aligned} \tag{5.10}$$

In questo caso si dice che la DMU_o è efficiente se e solo se $\phi^* = 1$ e $s_i^{-*} = s_r^{+*} = 0$ per qualsiasi i ed r . La DMU_o si dice debolmente efficiente se presenta $\phi^* = 1$ e $s_i^{-*} \neq 0$ e/o $s_r^{+*} = 0$ per qualche i ed r . Se non vi sono DMU debolmente efficienti, le *slack* si calcolano nel seguente modo:

$$\begin{aligned}
 s_i^- &= x_{io} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \quad i=1,2,\dots,m \\
 s_r^+ &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - \phi^* y_{ro} \quad r=1,2,\dots,s
 \end{aligned} \tag{5.11}$$

Si può notare, dalla risoluzione del modello, che $\phi^* \geq 1$, e che si ottiene $\phi^* = 1$ se e solo se $\theta^* = 1$. Ciò significa che il modello *output-oriented* e il modello *input-oriented* raggiungono la stessa identica frontiera.

5.4.2 Modelli CRS/NIRS/NDRS

Come già specificato, il vincolo di convessità $\sum \lambda = 1$ determina la natura dei ritorni di scala di una frontiera efficiente. Se si rimuove tale vincolo, si ottiene un modello a ritorni di scala costanti (CRS). La figura 5.3a mostra una frontiera efficiente nel caso di ritorni di scala costanti: in questo caso, solamente la DMU B è efficiente. Se al vincolo $\sum \lambda = 1$ si

sostituisce il vincolo $\sum \lambda \leq 1$ si ottiene il modello a ritorni di scala non crescenti (NIRS). La figura 5.3b mostra come, in questo caso, le DMU B, C, D e l'origine stiano sulla frontiera efficiente. Se invece si sostituisce il vincolo $\sum \lambda \geq 1$ al vincolo di convessità si ottiene il modello a ritorni di scala non decrescenti (NDRS). La figura 5.3c mostra come, in quest'ultima situazione, la frontiera efficiente consista nelle DMU A, B e nel segmento che si diparte da B individuato sulla retta OB.

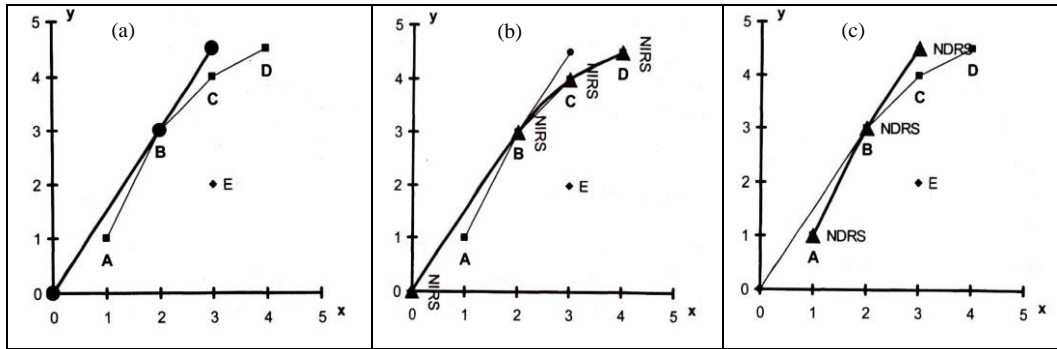


Figura 5.3 – Frontiere efficienti per i modelli CRS (a), NIRS (b) e NDRS (c). (Fonte: Zhu, 2009)

5.4.3 Modelli *measure-specific*

Sebbene la metodologia DEA non necessiti di informazioni a priori sulla forma funzionale latente e sui pesi da attribuire ai diversi input e output del sistema produttivo, essa assume “miglioramenti” proporzionali degli input e degli output. Questa ipotesi può essere rimossa imponendo una struttura di preferenza nel processo di miglioramento dei differenti input e output nella valutazione delle DMU inefficienti. Sono stati sviluppati dei modelli che permettono di imporre una priorità nel processo di ottimizzazione delle DMU e di miglioramento degli input ed output. Tali modelli prendono il nome di *measure-specific*. Si definiscano i due insiemi $I \subseteq \{1,2,\dots, m\}$ e $O \subseteq \{1,2,\dots, s\}$ che rappresentano rispettivamente i due set di input ed output di interesse per i quali si vuole imporre una priorità nell’ottimizzazione. Attraverso un modello dell’involuppo è possibile ottenere un set di modelli *measure-specific* in cui solamente gli input contenuti in I e gli output contenuti in O sono ottimizzati. Questi modelli possono inoltre essere utilizzati per simulare gli effetti di input e output non controllabili, assumendo come variabili controllabili le quantità incluse negli insiemi I ed O . Si dimostra che una DMU è efficiente secondo il modello dell’involuppo se e solo se essa è efficiente secondo i modelli *measure-specific*. Entrambi i modelli forniscono la stessa frontiera efficiente ma per le DMU inefficienti si ottengono *target* differenti. Il modello *measure-specific* di tipo VRS *input-oriented* può essere scritto nella seguente forma funzionale:

$$\begin{aligned}
 \min \theta_o - \varepsilon & \left(\sum_{i \in I} s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 \theta_o x_{io} &= \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- \quad i \in I \\
 x_{io} &= \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- \quad i \notin I \\
 y_{ro} &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \quad r=1,2,\dots,s \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
 \lambda_j, s_i^-, s_r^+ &\geq 0 \quad \forall i, r, j
 \end{aligned} \tag{5.12}$$

I valori del target di efficienza si ottengono invece applicando le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned}
 \hat{x}_{io} &= \theta^* x_{io} - s_i^{-*} \quad i \in I \\
 \hat{x}_{io} &= x_{io} - s_i^{-*} \quad i \notin I \\
 \hat{y}_{ro} &= y_{ro} + s_r^{+*} \quad r=1,2,\dots,s
 \end{aligned} \tag{5.13}$$

5.4.4 Modelli additivi (*slack-based*)

I modelli *input-oriented* considerano la (possibile) riduzione proporzionale degli input mantenendo costanti i valori attuali degli output. I modelli *output-oriented* considerano il (possibile) incremento proporzionale degli output mantenendo costanti i valori attuali degli input. Charnes, Cooper, Golany, Seiford & Stutz hanno sviluppato un modello additivo che considera contemporaneamente la riduzione degli input e l'incremento di output. Il modello additivo sviluppato si basa sulle *slack* di input e di output e assume variazioni marginali uguali per le variabili di *slack* diverse da zero. Pertanto, in questo caso, deve prestarsi attenzione alla scelta delle unità di misura degli input e degli output. Possono essere necessarie alcune informazioni (pesi da assegnare) a priori per scongiurare la somma inappropriata di unità non commensurabili. I pesi servono proprio a garantire la congruità. Il modello additivo pesato (*slack-based*) di tipo CRS si riassume in:

$$\begin{aligned}
 \max \sum_{i=1}^m w_i^- s_i^- - \sum_{r=1}^s w_r^+ s_r^+ \\
 \theta_o x_{io} &= \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- \quad i=1,2,\dots,m \\
 y_{ro} &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \quad r=1,2,\dots,s \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
 \lambda_j, s_i^-, s_r^+ &\geq 0 \quad \forall i, r, j
 \end{aligned} \tag{5.14}$$

La DMU_o sarà definita efficiente se e solo se il valore ottimo del problema sopra riportato è pari a zero. Altrimenti, un valore ottimo s_i^{-*} diverso da zero identifica un eccesso

nell'utilizzo dell' i -esimo input ed un valore ottimo s_r^{+*} diverso da zero identifica un deficit dell'output r -esimo. Dunque la soluzione del problema additivo fornisce informazioni sui possibili aggiustamenti agli input ed output di ciascuna DMU.

5.4.5 Modelli non radiali

I modelli classici DEA sono definiti come modelli di misura di tipo “radiale” in quanto ottimizzano tutti gli input e tutti gli output di una DMU ad una certa proporzione. Nel 1978, Färe & Lovell hanno introdotto un tipo di misura non radiale che consente riduzioni degli input o incrementi degli output in maniera non proporzionale. La forma funzionale del modello non radiale VRS di tipo *input-oriented* è la seguente:

$$\begin{aligned} \min & \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \theta_i - \varepsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\ \theta_o x_{io} &= \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j & i=1,2,\dots,m \\ y_{ro} &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ & r=1,2,\dots,s \\ \theta_i &\leq 1 & i=1,2,\dots,m \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j, s_r^+ \geq 0 & \forall r, j \end{aligned} \quad (5.15)$$

I valori del target di efficienza si ottengono applicando le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{io} &= \theta_i^* x_{io} & i=1,2,\dots,m \\ \hat{y}_{ro} &= y_{ro} + s_r^{+*} & r=1,2,\dots,s \end{aligned}$$

Come si può notare, non esistono *slack* di input nel modello non radiale *input-oriented* (così come non esistono *slack* di output nel modello non radiale *output-oriented*). Le *slack* sono calcolate in uno step successivo, una volta trovati i valori ottimi delle efficienze.

5.4.6 Modelli con struttura di preferenza

Sia il modello dell'involuppo che i modelli non radiali forniscono dei *target* di efficienza per le DMU inefficienti. Ad ogni modo, questi *target* possono non essere auspicabili o raggiungibili per un corretto management o a causa di condizioni esterne al sistema. E' possibile modellare queste situazioni attribuendo una struttura di preferenza sulle proporzioni di cambiamento dei valori attuali di input ed output. Zhu ha sviluppato un set di modelli non radiali pesati per mezzo dei quali è possibile ottenere diversi valori dei *target* e della frontiera efficiente. Si definiscano rispettivamente A_i ($i=1,2,\dots,m$) e B_r ($r=1,2,\dots,s$) due set di pesi stabiliti dall'analista per garantire la struttura di preferenza, che rispecchiano il grado relativo di desiderabilità nelle variazioni dei valori attuali di input ed output. E' possibile

ottenere il modello con struttura di preferenza semplicemente modificando la prima parte della F.O. del modello non radiale VRS *input-oriented* indicato nella (5.15), da $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \theta_i$ a $\frac{\sum_{i=1}^m A_i \theta_i}{\sum_{i=1}^m A_i}$ e rimuovendo il vincolo $\theta_i \leq 1$. Evidentemente, maggiore è il valore del peso A_i , più alta è la priorità con la quale si consente alla DMU_o di modificare il suo i -esimo input e di portarlo ad un valore inferiore rispetto a quello attuale. In altri termini, nel caso di DMU inefficiente occorrerà assegnare un valore del peso tanto più grande quanto più si vuol modificare un input o un output. E' possibile classificare gli input e gli output in relazione alla loro importanza relativa in modo da ottenere un set di pesi ordinali. Possono utilizzarsi a tal fine tecniche come il metodo Delphi o l'*Analytic Hierarchy Process* (AHP). Ovviamente si deve prestare molta attenzione nella conversione dei pesi da ordinali a valori di preferenza. Nei modelli con struttura di preferenza il valore dell'efficienza può superare l'unità sotto certe condizioni di assegnazione dei pesi.

5.4.7 Modelli *bad input/output*

In un sistema produttivo possono essere presenti variabili di input ed output non desiderabili (*bad inputs/outputs*). Ad esempio il numero di passeggeri in coda ai banchi check-in può rappresentare un output indesiderato. Nei modelli classici DEA la condizione di ottimalità si ottiene incrementando gli output e diminuendo gli input. Se si applica un modello convenzionale per la valutazione dell'efficienza di un sistema produttivo in cui è presente un output non desiderabile che viene valutato come input affinché possa essere ridotto, i risultati non rifletteranno il processo di produzione reale. Esistono anche situazioni in cui alcuni input necessitano di essere incrementati al fine di migliorare la performance del sistema. Seiford & Zhu hanno recentemente sviluppato un approccio modellistico per tenere conto di queste considerazioni all'interno del modello dell'involuppo di tipo VRS. Il punto di forza di questo approccio risiede in una delle proprietà fondamentali della metodologia DEA denominata "invarianza della classificazione". Secondo questa, la classificazione delle efficienze e delle inefficienze rimane la stessa anche a seguito di una trasformazione dei dati di input/output. Se, infatti, si suppone che gli input e gli output siano trasformati rispettivamente in $\bar{x}_{ij} = x_{ij} + u_i$ e $\bar{y}_{rj} = y_{rj} + v_r$ con u_i e v_r quantità non negative. Il modello dell'involuppo di tipo VRS *input-oriented* diventa:

$$\min \theta_o - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (5.16)$$

$$\begin{aligned}\theta_o \bar{x}_{io} &= \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} \lambda_j + s_i^- & i=1,2,\dots,m \\ \bar{y}_{ro} &= \sum_{j=1}^n \bar{y}_{rj} \lambda_j - s_r^+ & r=1,2,\dots,s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+ &\geq 0 & \forall i, r, j\end{aligned}$$

Ali & Seiford hanno dimostrato che una DMU è efficiente secondo il modello dell'inviluppo se e solo se essa è efficiente secondo il modello con le variabili trasformate. Questa conclusione deriva dalla presenza del vincolo di convessità $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$. Questa importante proprietà permette di modellare input ed output negativi applicando il modello VRS. Oltre alla proprietà dell'invarianza della classificazione esistono altri due tipi di invarianza a seguito di una trasformazione dei dati. Si parla di "invarianza nell'ordinamento" delle DMU inefficienti e di "invarianza della soluzione" secondo la quale il modello con variabili trasformate deve essere equivalente al modello originario ossia entrambi i modelli devono fornire la stessa identica soluzione. Il modello proposto da Ali & Seiford contempla solamente il primo caso di invarianza (classificazione).

5.4.8 Modelli di congestione

Secondo Cooper, Thompson & Thrall si verificano casi di "congestione" quando riduzioni di uno o più input possono essere associate ad incrementi di uno o più output o, viceversa, quando ad incrementi di uno o più input possono essere associati decrementi di uno o più output, senza che vi sia un peggioramento di qualsiasi altro input o output. Esempi tipici possono trovarsi nei sistemi produttivi minerari o agricoli. Ad esempio, l'utilizzo di una grande quantità di fertilizzante in un terreno può provocare una diminuzione della produttività di coltura. E' possibile ricavare i modelli di congestione tramite la definizione di disponibilità debole e forte di un input. In particolare, si parla di "disponibilità debole" di un input quando è possibile scalare il vettore degli output associati di un fattore compreso tra 0 ed 1. E' possibile ricavare le misure di congestione rispettivamente degli input ed degli output tramite le relazioni $C(\theta^*, \tilde{\theta}^*) = \frac{\theta^*}{\tilde{\theta}^*}$ e $C(\phi^*, \tilde{\phi}^*) = \frac{\phi^*}{\tilde{\phi}^*}$ dove $\tilde{\theta}^*$ e $\tilde{\phi}^*$ sono i valori ottimi dei problemi seguenti:

$$\begin{aligned}\tilde{\theta}^* &= \min \tilde{\theta} \\ \tilde{\theta} x_{io} &= \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j & i=1,2,\dots,m \\ y_{ro} &\leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j & r=1,2,\dots,s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1\end{aligned} \tag{5.17}$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \forall j$$

e, per quanto riguarda gli output:

$$\begin{aligned} \tilde{\phi}^* &= \max \tilde{\phi} \\ x_{io} &\geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \quad i=1,2,\dots,m \\ \tilde{\phi} y_{ro} &= \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \quad r=1,2,\dots,s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ \lambda_j &\geq 0 \quad \forall j \end{aligned} \tag{5.18}$$

I problemi (5.17) e (5.18) non sono altro che i modelli dell'involuppo di tipo VRS *input-oriented* ed *output-oriented* nei quali le disuguaglianze del vincolo rispettivamente interessato sono sostituite dalle uguaglianze. In particolare, se $C(\theta^*, \tilde{\theta}^*) = 1$ ($C(\phi^*, \tilde{\phi}^*) = 1$) allora l'input (output) non è congestionato. Altrimenti, se $C(\theta^*, \tilde{\theta}^*) < 1$ ($C(\phi^*, \tilde{\phi}^*) > 1$), allora l'input (output) è congestionato. Per l'individuazione dell'origine e della quantità di congestione presente può utilizzarsi un approccio *slack-based* ideato da Brockett, Cooper, Shin & Wang. Questo metodo consente non solo di determinare la presenza di congestione ma anche di identificare l'ammontare di tale quantità e di individuarne i fattori responsabili distinguendoli dalle altre componenti che determinano l'inefficienza di una DMU.

$$\begin{aligned} \max \sum_{i=1}^m \delta_i^+ \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - \delta_i^+ &= \theta^* x_{io} - s_i^{-*} = \hat{x}_{io} \quad i=1,2,\dots,m \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j &= y_{ro} + s_r^{+*} = \hat{y}_{ro} \quad r=1,2,\dots,s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ \lambda_j &\geq 0 \quad \forall j \quad s_i^{-*} \geq \delta_i^+ \end{aligned} \tag{5.19}$$

dove θ^* è ottenuto risolvendo il modello VRS *input-oriented* mentre s_i^{-*} e s_r^{+*} si ottengono dalla risoluzione del problema per l'individuazione del valore ottimo delle *slack*. La quantità di congestione per ciascun input può essere ricavata dalla differenza seguente:

$$s_i^c = s_i^{-*} - \delta_i^{+*}$$

In modo simile, è possibile calcolare le *slack* di output riguardanti la congestione risolvendo il problema:

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{r=1}^s \delta_r^- \\
 & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{io} - s_i^{-*} = \hat{x}_{io} \quad i=1,2,\dots,m \\
 & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + \delta_r^- = \phi^* y_{ro} + s_r^{+*} = \hat{y}_{ro} \quad r=1,2,\dots,s \quad (5.20) \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad \forall j \quad s_r^{+*} \geq \delta_r^-
 \end{aligned}$$

5.4.9 Modello della super-efficienza (*super-efficiency DEA models*)

Quando la DMU sotto valutazione (DMU_o) viene esclusa dal *peer group* del modello dell'involuppo, si parla di modello della super-efficienza (*super-efficiency DEA model*). Questo tipo di modello è utilizzato per determinare la regione di stabilità delle soluzioni e per effettuare un *ranking* delle DMU. L'espressione matematica del modello della super-efficienza VRS *input-oriented* è la seguente:

$$\begin{aligned}
 & \min \theta^{super} \\
 & \sum_{j=1; j \neq o}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta^{super} x_{io} \quad i=1,2,\dots,m \\
 & \sum_{j=1; j \neq o}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro} \quad r=1,2,\dots,s \quad (5.21) \\
 & \sum_{j=1; j \neq o}^n \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,n; j \neq o
 \end{aligned}$$

Si nota che θ^{super} può superare l'unità e che il modello fornisce solo un ordinamento "parziale" delle DMU in base alla loro efficienza, in quanto ogni volta la DMU_o non viene comparata con lo stesso *peer group* di riferimento.

5.4.10 Modello con variabili categoriche

Esistono situazioni in cui i dati utilizzati per le applicazioni, per quanto veritieri e quanto mai verosimili nel rispecchiare la produttività di un sistema, non possono tener conto di alcuni fattori o non esauriscono l'universo delle variabili esplicative. Un esempio su tutti è il caso della rendita di posizione. Nella valutazione dell'efficienza di un aeroporto o di un eliporto in termini di capacità di attrarre domanda verso di sé, ad esempio, va considerata la posizione territoriale ed il bacino di utenza. Alcune infrastrutture saranno in competizione tra loro mentre altre soffriranno la carenza di attrattività. Per questo motivo, sono stati creati modelli che sono in grado di simulare questo "handicap". Esistono tuttavia due casi di variabili categoriche: il primo, fa riferimento alle variabili non controllabili (categorie

gerarchiche) mentre il secondo si riferisce alle variabili controllabili (nel caso in cui la categoria è controllabile dal *decision maker*).

Nelle applicazioni oggetto del presente lavoro, si è scelto di utilizzare la prima classe di modelli, proprio per riflettere l'influenza dei fattori non altrimenti quantificabili nella produttività delle infrastrutture. In questo caso, le infrastrutture appartenenti ad una categoria verranno confrontate esclusivamente con le altre appartenenti alla stessa categoria.

Nel caso, invece, di variabili controllabili dal decisore, si utilizza un particolare algoritmo. Si suppone che ogni DMU possa essere valutata sulla base di L differenti classi categoriche, dove le categorie variano da 1 a L . Il problema consiste nel trovare, per ognuna delle DMU, la proiezione nella stessa categoria o nelle categorie superiori. Nell'algoritmo seguente, si considera il caso della DMU_o , che si trova attualmente al livello l ($1 \leq l \leq L$) e si ricerca il *reference set* e le proiezioni sulla frontiera efficiente con livelli della stessa categoria o superiore:

Per $h=l, l+1, \dots, L$, si ripetono i seguenti step:

Step 1

Si organizza un set di DMU composto da h (o superiori) livelli e si seleziona la DMU_o da analizzare.

Si valuta l'efficienza di DMU_o in relazione a questo gruppo. Si passa allo Step 2

Step 2

(i) Se la DMU_o è efficiente, si passa allo Step 3.

*(ii) Se la DMU_o è inefficiente, si registra il *reference set* ed il punto proiettato sulla frontiera.*

Se $h=L$, si passa allo Step 3. Altrimenti, si sostituisce h con $h+1$ e si ritorna allo Step 1.

Step 3

*Si esamina il *reference set* ed i livelli ottenuti nello Step 2 e si sceglie il punto più appropriato e la categoria per la DMU_o .*

Per la risoluzione del problema, è possibile scegliere uno dei modelli DEA di base (CCR, BCC, Additivo).

5.5 Panoramica sullo stato delle infrastrutture aeroportuali nazionali

Lo stato delle infrastrutture aeroportuali nazionali a basso traffico, così come il quadro programmatico definito dagli organi competenti per il miglioramento del sistema dell'aviazione civile nazionale, desta qualche perplessità dal punto di vista dell'efficienza e della qualità di riutilizzazione delle risorse e, per tale motivo, merita di essere attenzionato. Alcuni aeroporti nazionali sono sotto osservazione da parte dell'ENAC poiché valutati come "improduttivi": per alcuni di questi sono in corso degli studi approfonditi che con-

templano piani di sviluppo ed ampliamento del sedime con possibile apertura verso mercati internazionali *low cost*, soluzione che ha temporaneamente “salvato” diversi scali fino a poco tempo fa scarsamente utilizzati o poco trafficati (Trapani Birgi, Rimini, Pisa etc.).

Gli aeroporti minori sono, in linea generale, destinati o ad integrarsi in sistemi multi-aeroporto o a riconvertirsi in infrastrutture non solamente più produttive ma anche più efficienti. A tal proposito, lo scorso 29 gennaio 2013 è stata convocata una Commissione presso il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con l’obiettivo di definire gli atti di indirizzo per la definizione di un Piano Nazionale per lo Sviluppo Aeroportuale. Gli intenti di tale Piano, in linea con le direttive della Commissione Europea, possono riassumersi in:

- pianificazione del settore in un quadro strategico europeo;
- potenziamento dell’accessibilità e dell’intermodalità;
- riduzione dei costi e miglioramento dei servizi alla clientela;
- risanamento economico delle gestioni.

Con l’obiettivo di perseguire tali principi, sono state definite le linee guida per la redazione del Piano di Sviluppo. Un nodo cruciale nell’elaborazione del Piano è individuabile proprio nella definizione di un quadro generale di aeroporti di interesse nazionale con il contestuale trasferimento alle Regioni (o l’eventuale chiusura) degli scali che non sono compresi in questo quadro e l’assoluto divieto di costruzione di nuove infrastrutture aeroportuali. L’intera rete è stata suddivisa nel seguente modo:

- *Core Network – Ten-t*: i dieci aeroporti considerati di rilevanza strategica a livelli europeo in quanto pertinenti a città o nodi primari;
- *Comprehensive Network*: gli aeroporti con traffico superiore al milione di passeggeri annui, o che registrano un traffico superiore a 500.000 passeggeri all’anno e che siano in possesso di ulteriori specifiche caratteristiche (ad esempio l’unicità nell’ambito regionale o il servizio ad un territorio caratterizzato da scarsa accessibilità) o ancora, gli aeroporti indispensabili ad assicurare la continuità territoriale;
- Aeroporti non facenti parte di nessuna delle due reti europee ossia aeroporti minori destinati alla delocalizzazione del traffico di grandi aeroporti.

Il presente lavoro vuole concentrare l’attenzione proprio su quest’ultima categoria di scali e sul vantaggio che si potrebbe ottenere, in termini di operatività e di spazio occupato, mediante la conversione delle infrastrutture minori in piattaforme V/STOL atti a smistare il traffico regionale di collegamento tra porzioni di territorio scarsamente accessibili e grandi nodi aeroportuali inseriti nelle reti europee sopra citate.

I dati più recenti elaborati dall'ICCSAI (*International Center for Competitiveness Studies in the Aviation Industry*) evidenziano un *trend* negativo in riferimento al numero di passeggeri movimentati negli aeroporti caratterizzati da un traffico annuale inferiore a 1 milione nel periodo 2000-2010 (Figura 5.4).

Una delle criticità maggiori è rappresentata proprio dal fallimento delle prospettive di sostenibilità economica degli scali minori. Nonostante le società di gestione presentino situazioni diversificate, l'analisi dei bilanci evidenzia come normalmente le gestioni di minori dimensioni siano penalizzate dall'avere ricavi unitari più bassi ma soprattutto costi unitari più elevati; l'insieme di questi fattori porta ad avere una copertura industriale dei costi in aeroporti con un traffico elevato, mentre al di sotto del milione di passeggeri la normalità è quella di un risultato negativo (Fig. 5.5).

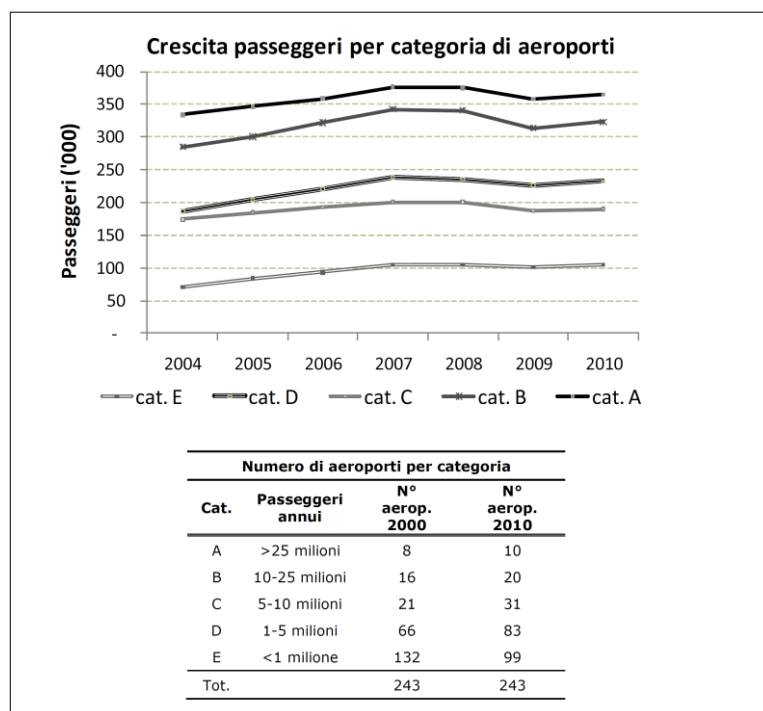


Figura 5.4 - Andamento del numero di passeggeri movimentati negli aeroporti europei per categoria di traffico (Fonte: ICCSAI Fact Book 2011)

Un'ipotesi talvolta sottovalutata o addirittura non presa in considerazione, spesso per motivazioni di natura politica o per interessi delle comunità locali, è quella della conversione delle infrastrutture aeroportuali improduttive in eliporti, in grado di smistare il traffico nazionale a breve-medio raggio (entro un raggio di 500 chilometri) contribuendo così al decongestionamento degli scali principali, oggi più che mai in via di saturazione.

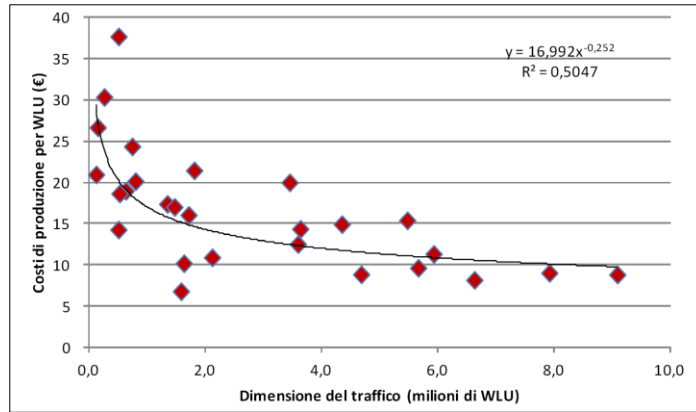


Figura 5.5 - Relazione tra i costi di produzione per WLU e la dimensione del traffico per gli aeroporti nazionali (Fonte: ASSAEROPORTI)

L'analisi condotta nell'ambito di questo studio vuole inoltre evidenziare le potenzialità delle infrastrutture eliportuali in termini di passeggeri movimentati sulla base della porzione di territorio occupata relativamente contenuta e dei servizi offerti al passeggero. Lo studio prende in esame un gruppo di aeroporti nazionali aperti al traffico civile, a medio-basso traffico (meno di 600.000 passeggeri all'anno). Per mettere in luce le differenze prestazionali tra queste infrastrutture e le piattaforme VTOL, è stato preso in considerazione un set di eliporti per trasporto passeggeri: la scarsa presenza di queste infrastrutture sul territorio nazionale ha condotto ad investigare sugli eliporti internazionali maggiormente trafficati, nei quali vengono espletate operazioni di trasporto civile ed utilizzati prevalentemente per servizi "helibus". Per motivi di omogeneità e di disponibilità dei parametri, tutti i dati di traffico, infrastrutturali, dimensionali e operativi fanno riferimento all'anno 2011.

La Figura 5.6 mostra l'inquadramento territoriale degli aeroporti nazionali presi in considerazione nel caso studio, e le aree di influenza dei due aeroporti intercontinentali in un range di 500 km. Si può notare come la quasi totalità delle infrastrutture ricadano all'interno di una delle due (o di entrambe) le aree di influenza. Ciò significa che i due più importanti gates per l'Europa e per il mondo possono essere raggiunti in meno di 90 minuti e in un solo step a partire dalle infrastrutture considerate (eccetto per il caso delle isole di Lampedusa e Pantelleria), se si ipotizzano collegamenti con elicotteri con frequenze modulate in relazione alla domanda di traffico. A questo punto, è bene precisare che l'analisi effettuata ha fornito risultati importanti ma non esaustivi per il caso in esame: la definizione di una rete efficiente di aeroporti e dei relativi collegamenti è un problema assai complesso, che richiede la contemporanea cooperazione tra più soggetti di varie competenze. Lo studio è comunque mirato al raggiungimento di uno scopo, la cui parzialità, rispetto alla totalità delle prospettive da analizzare per il miglioramento del sistema, non pregiudica la bontà

dei risultati ottenuti e l'utilità del lavoro. L'analisi è stata condotta per scenari di simulazione. Ogni scenario è individuato da precisi valori dei seguenti parametri:

- modello DEA utilizzato;
- composizione del set di DMU;
- input e output scelti per il confronto delle DMU.

Gli input e gli output utilizzati per descrivere il “processo produttivo” delle infrastrutture fanno riferimento a caratteristiche dimensionali e/o operative, o ancora a proprietà trasportistiche dei luoghi (es. accessibilità). Il parametro di output prevalentemente utilizzato nella maggioranza delle simulazioni è il numero di passeggeri movimentati in un anno, fattore decisivo che caratterizza la produttività di uno scalo nonché la sua sostenibilità economica. I parametri di input variano invece a seconda degli scenari e degli obiettivi prefissati in ogni simulazione. Nella scelta degli input e degli output, si è seguita, nella totalità delle simulazioni, la regola di Golany & Roll.

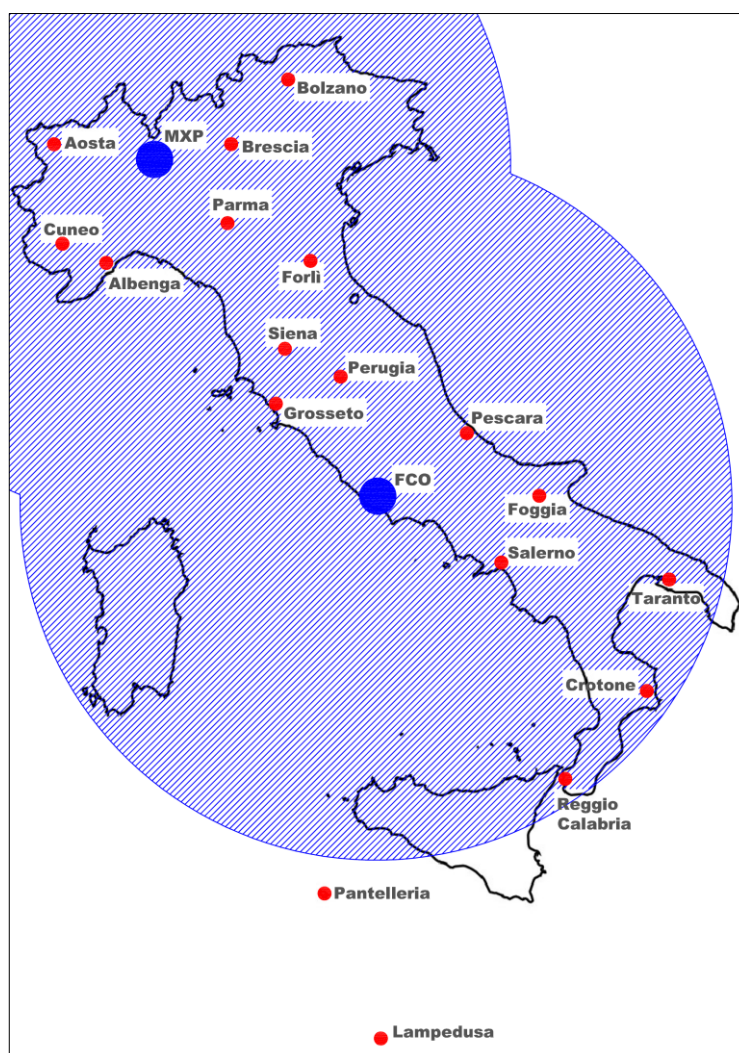


Figura 5.6 – Inquadramento territoriale degli aeroporti minori aperti al traffico civile e *catchment area* dei due aeroporti intercontinentali nel range 500 km

5.6 Simulazione 1

Una prima simulazione è stata eseguita per valutare l'efficienza dei 42 aeroporti nazionali (Figura 5.6), in relazione a caratteristiche proprie degli scali, ovvero l'accessibilità, interna ed esterna, le dimensioni del terminal, dell'apron e dell'intero sedime aeroportuale, il traffico e la redditività. Sono stati esclusi gli aeroporti di Pantelleria e Lampedusa poiché casi isolati non confrontabili con il resto delle infrastrutture nazionali. Per la valutazione dell'accessibilità si è inoltre scelto di considerare, come parametro di input, il numero di stalli che compongono il parcheggio automobili e, come output, il numero di residenti che possono raggiungere lo scalo in auto entro i 90 minuti. Altri output utilizzati sono il traffico, espresso in termini di passeggeri movimentati nell'arco di un anno, il numero di movimenti nell'ora di picco e l'utile o la perdita della società di gestione dello scalo. I parametri della Simulazione 1 sono riassunti nella Tabella 5.4.

Tabella 5.4 – *Dataset* della Simulazione 1

Simulazione 1	
Modello DEA:	BCC <i>input-oriented</i>
Numero di DMU:	42 (aeroporti nazionali)
Input:	Superficie del sedime Numero di stalli di sosta per veicoli Superficie del terminal Superficie dell'apron
Output:	Passeggeri annui Numero di residenti che possono raggiungere lo scalo nei 90 minuti su gomma (R90) Numero di movimenti nell'ora di picco Utile/Perdita della società di gestione

Attraverso l'applicazione del modello (5.8) è stato possibile ricavare i valori delle efficienze per i 42 aeroporti nonché le *slack*, i rendimenti di scala, le proiezioni delle DMU inefficienti sulla frontiera efficiente e le differenze, in valore assoluto ed in percentuale, tra i valori attuali e i valori ottimi degli input e degli output. I risultati delle simulazioni hanno evidenziato come la metà degli aeroporti nazionali risultano inefficienti (Tabella 5.5). Tuttavia, non sono presenti DMU debolmente efficienti. Come si può evincere dalla lettura della stessa Tabella 5.5, 6 dei 16 aeroporti minori (quelli con traffico annuale inferiore a 600.000 passeggeri, evidenziati in rosso) risultano inefficienti. Considerazioni interessanti emergono osservando i dati sulle proiezioni dei piccoli aeroporti nazionali inefficienti, riassunti in Tabella 5.6. Il quadro programmatico degli interventi infrastrutturali, pubblica-

to recentemente da ENAC, prevede, per alcuni scali, estensioni e/o rimodulazioni degli spazi destinati al piazzale di sosta degli aeromobili e al terminal passeggeri.

Tabella 5.5 – *Efficiency scores* della Simulazione 1

Aeroporto	Score	Aeroporto	Score
AOSTA	1	VENEZIA	0,98
ROMA Fiumicino	1	GROSSETO	0,97
MILANO Malpensa	1	PALERMO	0,94
MILANO Linate	1	LAMEZIA	0,86
SIENA	1	BARI	0,85
BERGAMO	1	BRINDISI	0,84
CATANIA	1	RIMINI	0,82
BOLOGNA	1	GENOVA	0,81
NAPOLI	1	TRAPANI	0,8
ALBENGA	1	TREVISO	0,69
ROMA Ciampino	1	PISA	0,68
ELBA	1	CAGLIARI	0,62
BRESCIA	1	FORLÌ	0,62
TORINO	1	ALGHERO	0,59
BOLZANO	1	CROTONE	0,57
VERONA	1	TARANTO	0,57
FOGGIA	1	OLBIA	0,56
PERUGIA	1	ANCONA	0,55
FIRENZE	1	PESCARA	0,52
PARMA	1	CUNEO	0,44
REGGIO CALABRIA	1	TRIESTE	0,34

A titolo di esempio, si riporta il caso dell'aeroporto di Cuneo, per il quale sono stati stanziati fondi per un ammontare di 4 milioni di euro, con l'obiettivo di ampliare gli spazi land-side ed air-side. I risultati della Simulazione 1 evidenziano come, nel caso dell'aeroporto di Cuneo, vi siano notevoli eccessi di input per quanto riguarda il sedime, il terminal, l'apron e gli stalli di sosta: l'investimento non giustificherebbe la necessità di ampliamento del terminal dal momento che l'aeroporto presenta una scarsa produttività. La Figura 5.7 mostra come gli aeroporti con traffico passeggeri inferiore a 1 milione di unità annuali, presentano un esubero di spazi destinati al terminal e all'apron rispetto ai valori medi nazionali. Ciò conferma la bontà dei risultati della prima simulazione.

Tabella 5.6 – Proiezioni delle DMU inefficienti (Simulazione 1)

GROSSETO (E=0,97)				TARANTO (E=0,57)			
Dati	Proiezione	Differenza		Dati	Proiezione	Differenza	
Apron (m ²)	13.000	12.576	- 424	Apron (m ²)	110.000	32.351	- 77.649
Sedime (ha)	317	40	- 277	Sedime (ha)	321	86	- 235
Terminal (m ²)	1.400	1.354	- 46	Terminal (m ²)	3.500	1.982	- 1.518
Stalli sosta	70	68	- 2	Stalli sosta	1.800	156	- 1.644
Passeggeri/anno	4.258	33.846	29.588	Passeggeri/anno	665	271.176	270.511
Utile/Perdita (€)	- 86.000	- 86.000	-	Utile/Perdita (€)	921.900	921.900	-
Movimenti ora di picco	-	1	1	Movimenti ora di picco	-	3	3
R90	650	1.618	968	R90	2.900	2.900	-
FORLÌ (E=0,62)				PESCARA (E=0,52)			
Dati	Proiezione	Differenza		Dati	Proiezione	Differenza	
Apron (m ²)	63.000	34.178	- 28.822	Apron (m ²)	40.000	20.803	- 19.197
Sedime (ha)	93	57	- 36	Sedime (ha)	149	68	- 81
Terminal (m ²)	3.730	2.302	- 1.428	Terminal (m ²)	11.150	5.799	- 5.351
Stalli sosta	1.070	195	- 875	Stalli sosta	500	260	- 240
Passeggeri/anno	344.314	344.314	-	Passeggeri/anno	545.664	545.664	-
Utile/Perdita (€)	- 5.757.000	- 1.004.700	4.752.300	Utile/Perdita (€)	- 542.000	- 542.000	-
Movimenti ora di picco	3	3	-	Movimenti ora di picco	3	3	-
R90	3.650	3.650	-	R90	1.980	1.980	-
CROTONE (E=0,57)				CUNEO (E=0,44)			
Dati	Proiezione	Differenza		Dati	Proiezione	Differenza	
Apron (m ²)	52.000	15.335	- 36.665	Apron (m ²)	74.000	27.732	- 46.268
Sedime (ha)	155	41	- 114	Sedime (ha)	179	79	- 100
Terminal (m ²)	3.600	1.319	- 2.281	Terminal (m ²)	4.350	1.917	- 2.433
Stalli sosta	100	57	- 43	Stalli sosta	400	146	- 254
Passeggeri/anno	123.811	123.811	-	Passeggeri/anno	221.022	221.022	-
Utile/Perdita (€)	- 708.400	- 639.711	68.689	Utile/Perdita (€)	- 1.450.400	- 1.450.400	-
Movimenti ora di picco	1	1	0	Movimenti ora di picco	1	2	1
R90	450	450	-	R90	4.000	4.000	-

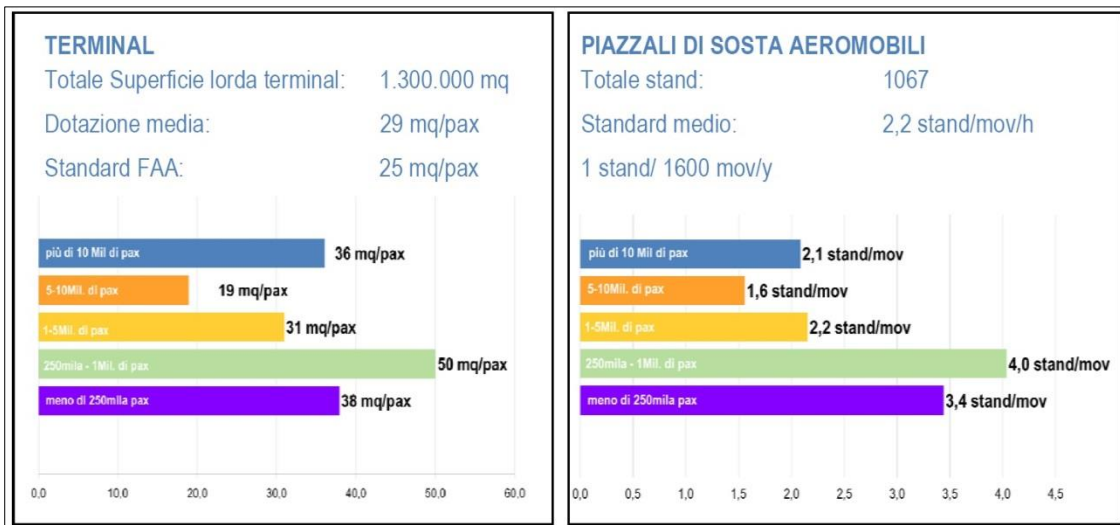


Figura 5.7 – Dotazione nazionale media di spazi destinati ad apron e terminal per tipologia di aeroporto (Fonte: ENAC)

Da qui, la riflessione sulla possibilità di ripensare gli aeroporti minori in un’ottica di apertura verso un altro tipo di traffico, ad esempio quello elicotteristico, che non richiede onerosi interventi infrastrutturali ma solamente rimodulazioni nel sistema di gestione dello scalo (sicuramente più snella rispetto al caso aeroportuale), la cui valutazione costi-benefici esula dagli scopi di questo lavoro.

Nell'ambito della prima simulazione, è stata valutata l'efficienza di scala al fine di investigare sulla natura dell'improduttività degli aeroporti minori (traffico annuale minore di 600.000 passeggeri): ovvero, se essi sono inefficienti per via di una scarsa produzione a livello locale o se la loro inefficienza è dovuta alla scala di produzione. Come precedentemente accennato, questa può essere valutata rapportando i valori delle efficienze calcolati con i modelli CCR e BCC: se questo rapporto è pari all'unità, allora la DMU lavora bene sia localmente che globalmente, se, altrimenti, la DMU presenta piena efficienza calcolata con il modello BCC ma un valore minore dell'unità calcolato con il modello CCR, allora questa è localmente ma non globalmente efficiente, dunque "soffre" la competizione con il resto delle infrastrutture. I risultati del modello sono riassunti nella Tabella 5.7. Si può notare come 11 aeroporti minori risultano efficienti a livello globale mentre 2 aeroporti (Brescia e Foggia) sono localmente ma non globalmente efficienti.

Tabella 5.7 – Valutazione dell'efficienza di scala (Simulazione 1)

Airport	CCR Score	BCC Score	Scale Efficiency
PESCARA	0,52	0,52	1
REGGIO CALABRIA	1	1	1
FORLÌ	0,62	0,62	1
PARMA	1	1	1
CUNEO	0,44	0,44	1
PERUGIA	1	1	1
CROTONE	0,55	0,57	0,97
FOGGIA	0,72	1	0,72
BOLZANO	1	1	1
BRESCIA	0,80	1	0,80
ELBA	1	1	1
GROSSETO	0,91	0,97	0,94
ALBENGA	1	1	1
SIENA	1	1	1
AOSTA	1	1	1
TARANTO	0,34	0,57	0,60

Un ulteriore *step* dell'analisi è consistito nell'applicazione del modello (5.21) per valutare la super-efficienza degli aeroporti minori, in modo tale da effettuare un *ranking* delle infrastrutture efficienti. I risultati dell'analisi sono riassunti in Tabella 5.8.

Tabella 5.8 – Valutazione della super-efficienza (Simulazione 1)

Airport	Super-efficiency Score
PARMA	3,85
BRESCIA	3,16
ELBA	2,90
SIENA	2,54
BOLZANO	2,14
AOSTA	1,94
FOGGIA	1,33
REGGIO CALABRIA	1,24
ALBENGA	1,04
PERUGIA	1
GROSSETO	0,97
FORLÌ	0,62
CROTONE	0,57
TARANTO	0,57
PESCARA	0,52
CUNEO	0,44

Si può notare come Parma e Brescia rappresentino le migliori infrastrutture in riferimento a questa simulazione, mentre tutti gli aeroporti classificati come inefficienti nel modello BCC (6 aeroporti) rimangono inefficienti dopo l'applicazione del modello della super-efficienza.

5.7 Simulazione 2

Una seconda simulazione ha riguardato la valutazione dell'efficienza di un gruppo di 16 aeroporti minori, con lo scopo di investigare l'efficienza in relazione alla capacità delle infrastrutture, suddivise nelle due macro aree funzionali del sedime aeroportuale, land-side ed air-side. Il tema della capacità delle infrastrutture aeroportuali nazionali è oggetto di studi e indagini approfondite. Secondo ENAC, “in relazione ai traffici attesi, se gli attuali livelli di capacità non venissero incrementati in modo consistente, si ritiene che entro i prossimi 10 anni i principali aeroporti italiani potranno essere gravemente congestionati. Per Roma Fiumicino in particolare la soglia di capacità potrebbe essere raggiunta, in assenza di interventi sostanziali sul sistema piste e piazzali, già entro il 2015, mentre per Milano Malpensa entro il 2020. Situazione analoga per gli aeroporti di Bergamo, Catania, Napoli, Bologna, Firenze e Pisa, che presentano già oggi un livello di saturazione delle aerostazioni nelle ore di picco. Buona invece la capacità delle piste degli scali di Milano Li-

nate e Ciampino, che però hanno dei limiti allo sviluppo dettati da problemi incompatibilità ambientale”. Per questi motivi, la creazione di una rete di infrastrutture eliportuali, opportunamente integrata nel territorio, in grado di asservire i principali scali aeroportuali in cui si registrano forti criticità capacitive, può rappresentare una soluzione sostenibile sia da un punto di vista economico, sia sotto il profilo temporale. D’altro canto, i piccoli aeroporti, registrano un esubero di infrastrutture o, in alcuni casi, una sottoutilizzazione degli spazi, proprio per la carenza di traffico. Le porzioni di territorio inutilizzate e “recuperate” tramite una opportuna conversione dell’uso del suolo, potrebbero essere destinate a nuove strutture terrestri o a nuovi terminali o infrastrutture stradali e ferroviarie che talvolta, specialmente in alcune regioni, rappresentano il punto debole del sistema dei trasporti nazionale. La Figura 5.7 mostra proprio come gli aeroporti con traffico passeggeri inferiore a 1 milione di unità annuali, presentano un eccesso di spazi destinati al terminal e all’apron rispetto ai valori medi nazionali.

Tabella 5.9 – Dataset della Simulazione 2

Simulazione 2	
Modello DEA:	BCC <i>input-oriented</i>
Numero di DMU:	16 (aeroporti nazionali minori)
Input:	Superficie dell’area funzionale
Output:	Capacità dell’area funzionale (pax/anno, mov/h)
Aree funzionali:	Pista principale, Apron, Terminal
Macro aree:	Air-side (apron + pista), Land-side (terminal)

Nell’ambito della Simulazione 2, è stata valutata l’efficienza degli scali minori in relazione alla capacità, mediante l’applicazione di 3 modelli BCC *input-oriented*, uno per ciascuna delle aree funzionali, rispettivamente apron, pista e terminal. Come input, si è scelto di utilizzare rispettivamente le superfici delle tre aree, mentre gli output sono proprio le capacità dell’apron, delle piste e del terminal espresse in numero di passeggeri annui e di movimenti orari (Tabella 5.9).

La Figura 5.8 riporta i valori delle efficienze nei tre modelli nonché i valori medi ottenuti dal confronto dei tre punteggi. Si può notare come, sotto il profilo della capacità delle aree funzionali del sedime, l’aeroporto di Forlì sia l’unico ad essere pienamente efficiente, mentre i valori medi più bassi si registrano per Taranto, Crotone e Cuneo. Le proiezioni delle DMU inefficienti sulla frontiera efficiente hanno premesso di ricavare, per ognuno degli aeroporti, gli eccessi di aree air-side (apron + piste) e land-side (terminal) espressi in m². Le Figure 5.9 e 5.10 mostrano rispettivamente gli eccessi delle superfici air-side ed air-side.

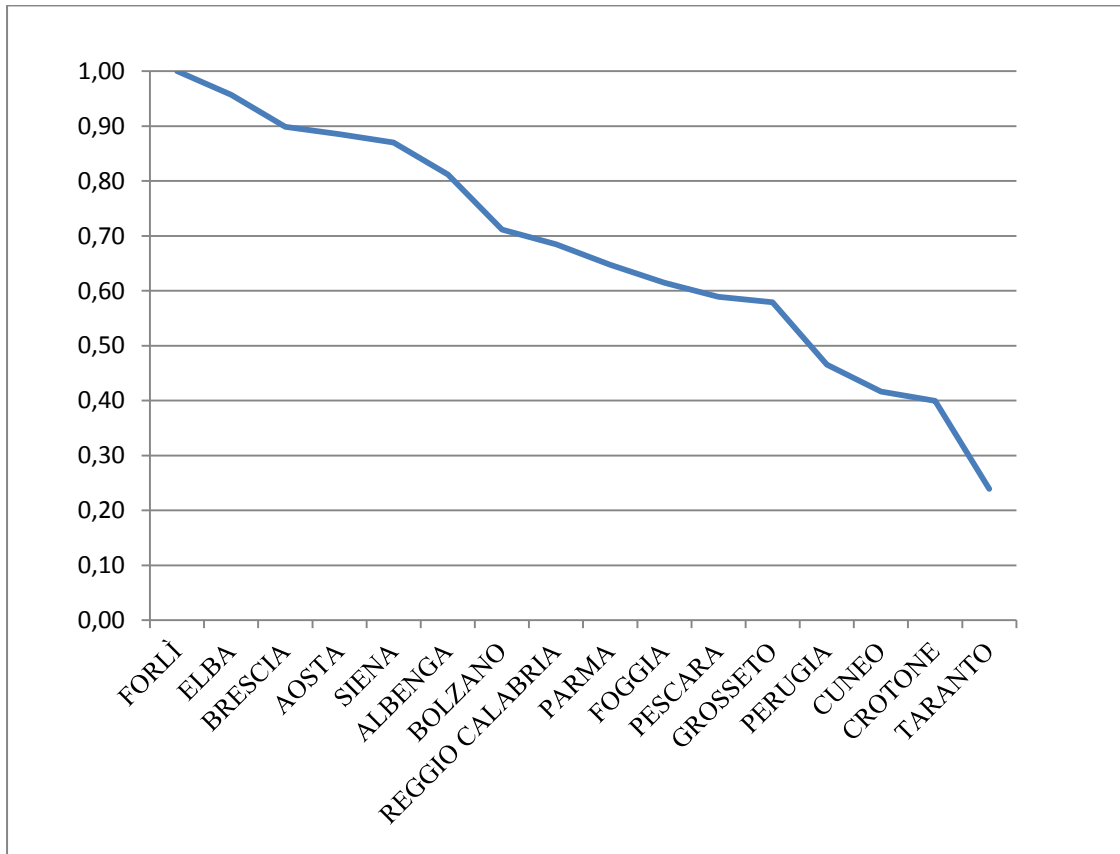
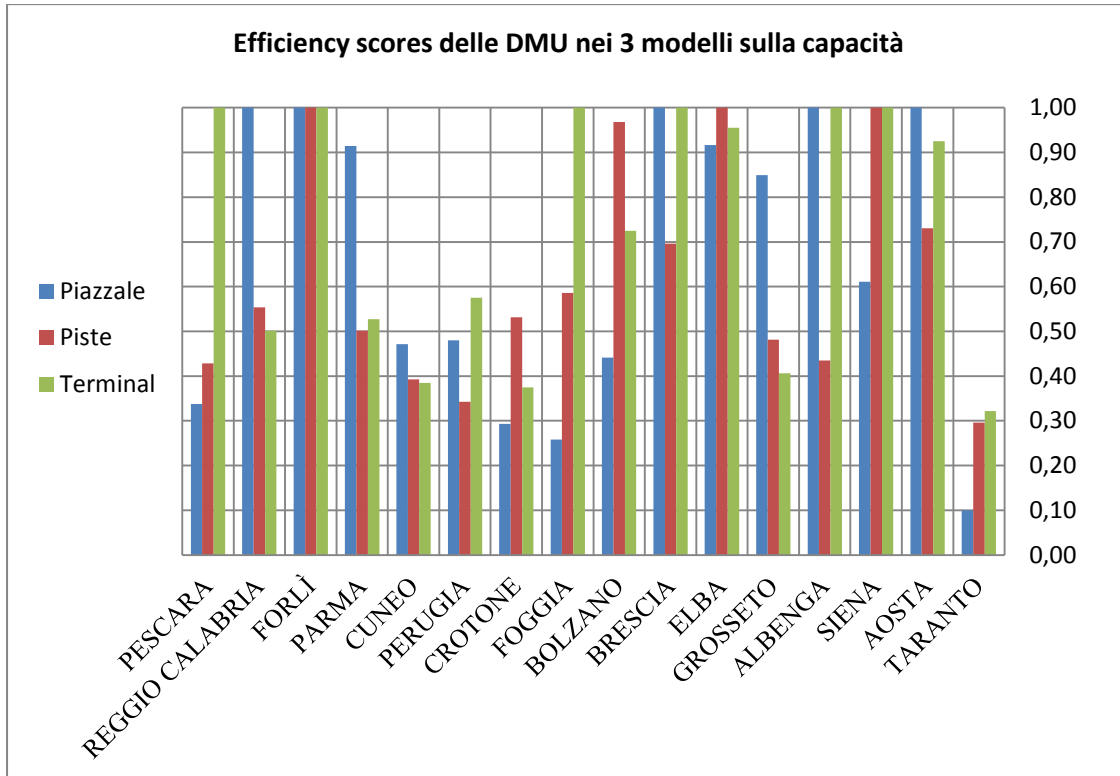


Figura 5.8 – Efficiency scores delle DMU nei tre modelli sulla capacità

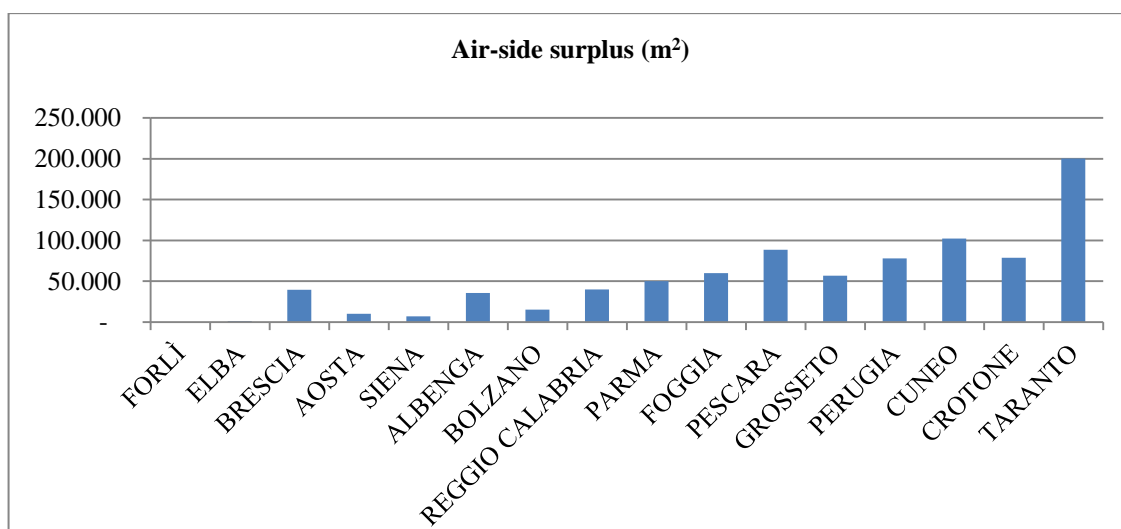


Figura 5.9 – Eccesso di superficie air-side per i 16 aeroporti minori

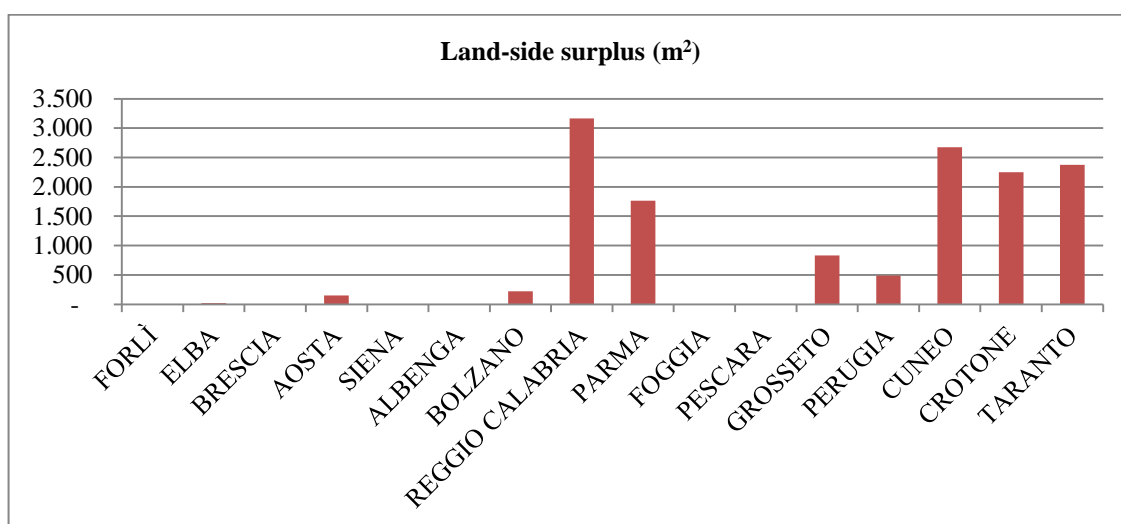


Figura 5.10 – Eccesso di superficie land-side per i 16 aeroporti minori

Alla luce dei risultati ottenuti nelle prime due simulazioni, è possibile trarre le opportune conclusioni. Aeroporti come Taranto, Cuneo, Perugia e Crotona presentano *scores* infrastrutturali insufficienti per poter giustificare la loro sostenibilità nell'ambito del sistema aeroportuale nazionale. Il caso di Foggia è atipico, giacché questo scalo, un tempo pienamente operativo e mediamente trafficato in relazione alla media nazionale, viene oggi utilizzato esclusivamente dal vettore *Alidaunia* per collegamenti elicotteristici con le isole Tremiti. Anche questa infrastruttura si configura come inefficiente e andrebbe ripensata come polo eliportuale del sud del Paese. Ad eccezione delle due isole siciliane, Pantelleria e Lampedusa, per le quali il servizio elicotteristico richiederebbe oneri eccessivi in virtù della notevole distanza dal resto del territorio nazionale, restano da analizzare aeroporti per i quali i valori ottimi medi dei due modelli sono compresi tra 0,5 e 0,75 (Bolzano, Reggio Calabria,

Parma, Foggia, Pescara, e Grosseto). Per questi aeroporti andrebbe condotta un'analisi più approfondita alla luce dei valori di redditività economica e degli scenari futuri di traffico. Infine, gli aeroporti per i quali i rapporti “suolo occupato-capacità” e “accessibilità-traffico” giustificerebbero l'esplicitamento di servizi ad ala fissa, sono Forlì, Isola d'Elba, Siena, Aosta, Brescia e Albenga.

5.8 Simulazione 3

Al fine di valutare l'efficienza delle infrastrutture eliportuali in confronto a quella riguardante gli aeroporti, è stata effettuata una terza simulazione, i cui parametri sono definiti in Tabella 5.10. La valutazione si basa sul confronto di un *set* di 10 eliporti per trasporto passeggeri localizzati in diverse regioni nel mondo e di un gruppo costituito dai 10 aeroporti minori che hanno raggiunto l'efficienza nella Simulazione 1. Anche in questo caso, la valutazione dell'efficienza è incentrata sulla tematica del consumo del suolo dell'infrastruttura e per tale motivo si è scelto di far riferimento a parametri prettamente dimensionali nella selezione degli input (superfici del sedime, del terminal e dell'apron). Si è scelto di descrivere la funzione di produzione delle infrastrutture in relazione al numero di passeggeri annui movimentati.

Tabella 5.10 – *Dataset* della Simulazione 3

Simulazione 3	
Modello DEA:	BCC <i>input-oriented</i>
Numero di DMU:	10 aeroporti minori efficienti + 10 eliporti per trasporto passeggeri
Input:	Superficie del sedime Superficie del terminal Superficie dell'apron
Output:	Passeggeri annui

I risultati della Simulazione 3 (Figura 5.11) mostrano come un solo aeroporto (Reggio Calabria) rimanga efficiente in confronto alle altre infrastrutture mentre tutti gli altri aeroporti che risultavano essere efficienti nella Simulazione 1 presentano ora punteggi minori dell'unità.

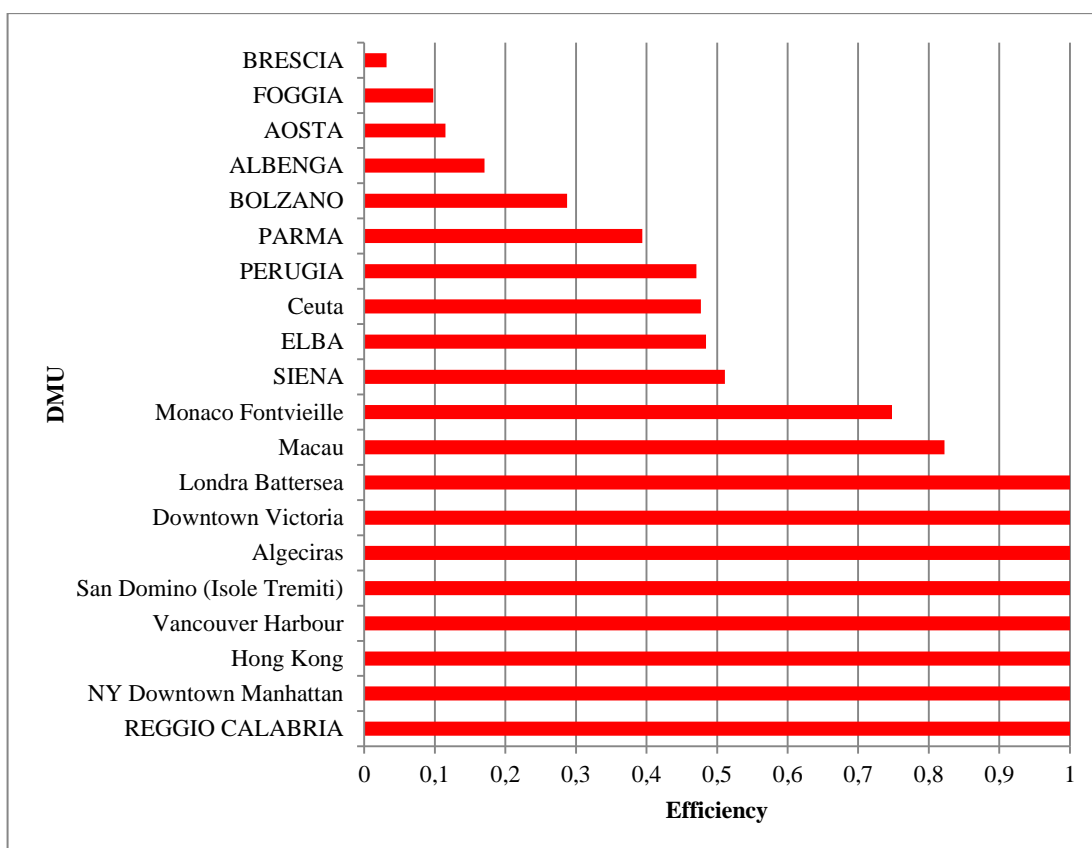


Figura 5.11 – Risultati della Simulazione 3

Gli *scores* maggiori riguardano gli eliporti, ad eccezione di tre infrastrutture (Ceuta, Monaco e Macau). Aeroporti come Siena, Parma e Aosta vengono declassati ad infrastrutture inefficienti perdendo rispettivamente il 48%, il 61% ed oltre il 70% del punteggio rispetto alla prima simulazione. Questo risultato fa riflettere sulla possibilità di utilizzare piccole infrastrutture in grado di movimentare la stessa mole di passeggeri di grandi ma inefficienti aeroporti, consumando minori quantità di suolo e garantendo al contempo una maggiore rapidità delle operazioni a terra.

5.9 Simulazione 4

Un'ulteriore simulazione è stata condotta per mettere a confronto un *set* di 11 infrastrutture eliportuali e per valutarne l'efficienza, suddividendo le aree di produttività in 3 settori, così come fatto per gli aeroporti nell'ambito della Simulazione 2. Le tre aree funzionali rimangono le stesse della Simulazione 2 ad eccezione della pista, che, nel caso eliportuale, è identificabile con la FATO. L'unico parametro di output scelto per descrivere la funzione di produzione è, in mancanza di ulteriori dati, il numero di passeggeri movimentati all'anno. La Tabella 5.11 riassume tutti i dati utilizzati.

Tabella 5.11 – Dataset della Simulazione 4

Simulazione 4	
Modello DEA:	BCC <i>input-oriented</i>
Numero di DMU:	11 eliporti per servizi di trasporto passeggeri
Input:	Superficie dell'area funzionale
Output:	Passeggeri annui
Aree funzionali:	FATO, Apron, Terminal
Macro aree:	Air-side (apron + FATO), Land-side (terminal)

I risultati della Simulazione 4 sono invece riassunti in Figura 5.12. Si evince la netta superiorità dell'eliporto di Hong Kong rispetto a tutte le altre infrastrutture, essendo questa pienamente efficiente rispetto alla totalità delle aree funzionali. L'eliporto di New York Downtown Manhattan e quello di Vancouver raggiungono l'efficienza solamente in riferimento a due aree, rispettivamente la FATO ed il terminal per il primo, e l'apron e il terminal per il secondo. Da notare come i punteggi più elevati si ottengono per l'area apron. Ciò a conferma della innegabile vantaggiosità che caratterizza l'utilizzo del piazzale da parte di aeromobili di piccole dimensioni ma dotate di straordinarie abilità di movimento. I risultati ottenuti rimarcano quindi le considerazioni effettuate al Capitolo 3 sulla flessibilità operativa del mezzo elicotteristico.

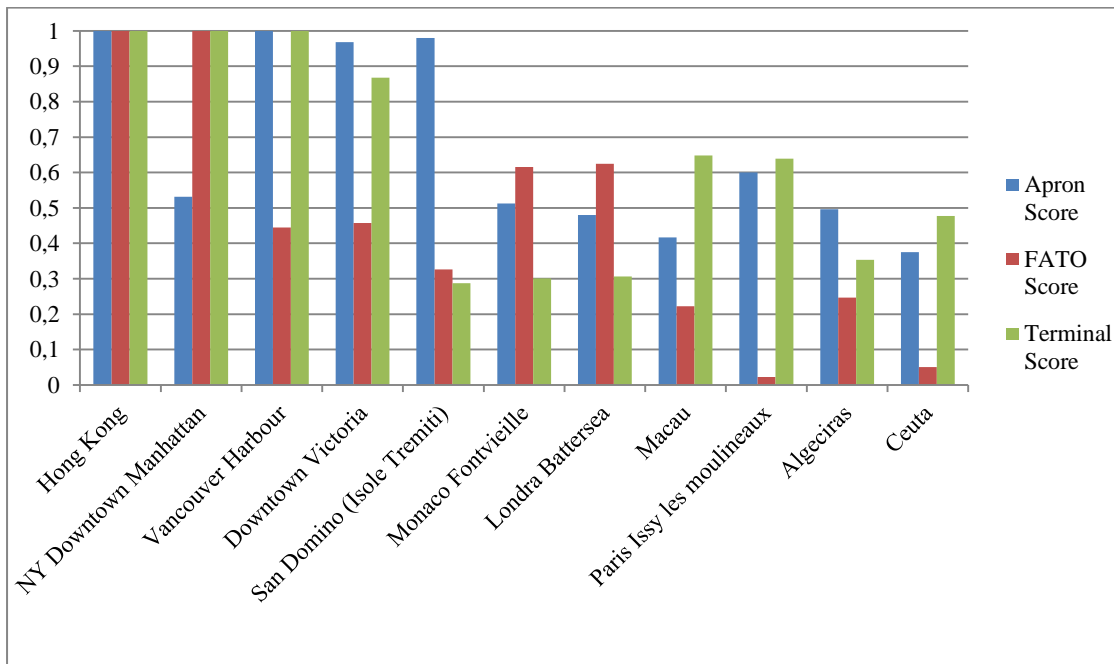


Figura 5.12 – Risultati della Simulazione 4

L'eliporto di Ceuta, classificato come ultimo in base al punteggio medio delle tre aree, paga l'inefficienza della FATO, dovuta alle dimensioni eccessive della piattaforma, inizialmente nata con lo scopo di accogliere gli aeromobili STOL ma ad oggi utilizzata solamente dagli elicotteri: altro fattore deterrente dello scarso rendimento dell'infrastruttura è sicu-

mente il fallimento della compagnia elicotteristica “*Helisureste*”. Con la riattivazione del servizio, si prospetta, infatti, un miglioramento dell'efficienza di questa infrastruttura in termini di passeggeri movimentati. Così come Ceuta, anche l'eliporto di Parigi “*Issy-les-moulineaux*” presenta uno score molto basso per quanto riguarda la FATO, di dimensioni evidentemente eccessive per giustificare la presenza del solo servizio elicotteristico.

Dall'osservazione dei punteggi della Simulazione 4 si osserva come le infrastrutture localizzate nelle zone extra-europee siano quelle che presentano gli *scores* più elevati, a dimostrazione di una maggiore sensibilità ed accuratezza nella progettazione, ma anche di un utilizzo maggiore dell'elicottero per gli spostamenti.

Anche in questo caso, sono state calcolate le efficienze di scala previa applicazione del modello CCR, per verificare la produttività locale e globale delle infrastrutture. La Tabella 5.12 mostra i valori suddetti per gli 11 eliporti esaminati, differenziati nelle tre aree operative. Se si fa riferimento ai valori medi, si osserva un elevato livello di efficienza globale per l'eliporto di New York mentre valori molto bassi si registrano per Victoria Downtown. Ancora una volta, si osserva come l'area operativa che, mediamente, rende gli eliporti efficienti a livello globale è proprio il piazzale di sosta.

Tabella 5.12 – Efficienze di scala (Simulazione 4)

Eliporto	Scale efficiency apron	Scale efficiency FATO	Scale efficiency terminal
NY Downtown Manhattan	0,99	1	0,67
Londra Battersea	1	0,17	0,13
Paris Issy les moulineaux	0,90	0,62	0,79
San Domino (Isole Tremiti)	0,83	0,45	0,95
Monaco Fontvieille	0,21	0,11	0,25
Vancouver Harbour	0,82	0,43	0,99
Macau	0,38	0,20	0,47
Ceuta	0,82	0,43	1
Hong Kong	0,39	0,20	0,47
Downtown Victoria	0,16	0,09	0,20
Algeciras	0,82	0,43	1

5.10 Simulazione 5

Un'ulteriore simulazione è stata condotta per evidenziare definitivamente la netta superiorità delle infrastrutture eliportuali, in luogo agli aeroporti, in termini di risparmio di territo-

rio in relazione al numero di passeggeri movimentati. La Tabella 5.13 ne mostra il quadro degli input e degli output.

Tabella 5.13 – *Dataset* della Simulazione 5

Simulazione 5	
Modello DEA:	BCC <i>input-oriented</i> con variabili categoriche
Numero di DMU:	6 aeroporti minori inefficienti + 3 eliporti inefficienti
Input:	Superficie del sedime Superficie dell'apron
Output:	Passeggeri annui

Si è scelto di rappresentare la funzione di produzione definendo due input (superfici del sedime e dell'apron) ed un output (numero di passeggeri movimentati in un anno). Il gruppo di valutazione è costituito da 9 DMU, di cui i 6 aeroporti minori che hanno mostrato i punteggi più bassi nella Simulazione 1 e i 3 eliporti che sono risultati inefficienti nella Simulazione 3. Si tratta dunque di un *peer group* costituito da infrastrutture inefficienti ma di differente natura. Nella comparazione di queste infrastrutture, valutate in precedenza come le più inefficienti, bisogna tener conto di un fattore fondamentale che, se non preso in considerazione, potrebbe portare a distorsioni dei risultati, specialmente nell'ambito di questa comparazione. Tale fattore si identifica con l'esclusività dell'eliporto di Monaco Fontvieille in relazione alle caratteristiche territoriali, economiche e trasportistiche della zona in cui si colloca. Per questo motivo, va considerato un indicatore che rifletta la capacità dell'infrastruttura di attrarre domanda verso di sé in relazione alle caratteristiche socio-economiche della popolazione residente. Come indicatore si è scelto proprio il PIL pro capite della zona o della regione in cui si colloca l'infrastruttura. Poiché questo indicatore assume valori pressoché identici per tutte le infrastrutture in analisi eccetto che per l'area monegasca (pari a circa il doppio di quello relativo agli altri casi), si è scelto di utilizzare un modello DEA di tipo BCC *input-oriented* con variabili categoriche, proprio per esprimere questa situazione "avvantaggiata" in cui l'eliporto di Monaco opera.

I risultati della Simulazione 5 sono evidenziati in Figura 5.13. Si nota come tutte e tre le infrastrutture eliportuali siano pienamente efficienti mentre l'unico aeroporto "sopravvissuto" al confronto è quello di Pescara. Gli aeroporti di Taranto, Crotona e Cuneo rimangono sempre agli ultimi posti del *ranking*. Ad ogni modo, Grosseto e Forlì non riescono a raggiungere neanche la soglia del 50% dell'efficienza degli eliporti.

Questi risultati rimarcano ancora una volta quanto detto in precedenza. L'utilizzo di piccole infrastrutture, che garantiscono una maggiore operatività ed un migliore sfruttamento del

territorio occupato, può contribuire dunque ad innalzare i livelli di efficienza dell'intero sistema dell'aviazione civile di un paese.

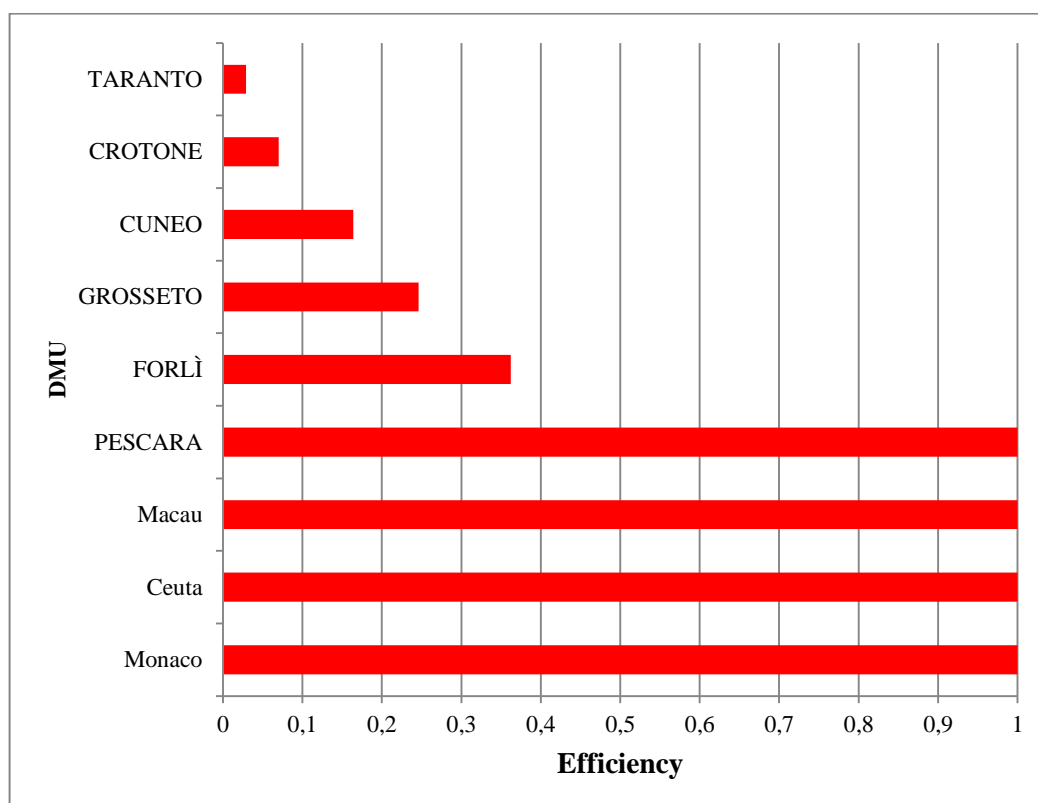


Figura 5.13 – Risultati della Simulazione 5

5.11 Simulazione 6

Infine, è stata condotta una simulazione che prende in considerazione 12 eliporti in relazione alle caratteristiche dimensionali ed infrastrutturali dell'air-side. Qui, si è scelto di focalizzare l'attenzione sulle dimensioni della FATO e dell'apron nonché sul numero di stand che compongono il piazzale di sosta degli elicotteri, utilizzando come output il numero di passeggeri annui (Tabella 5.14). E' stato utilizzato un modello BCC input-oriented senza la specificazione delle variabili categoriche, dal momento che si è appurata che entrambi i modelli producevano risultati identici.

Tabella 5.14 – Dataset della Simulazione 6

Simulazione 6	
Modello DEA:	BCC <i>input-oriented</i>
Numero di DMU:	12 eliporti
Input:	Superficie dell'apron Numero di stand Superficie della FATO
Output:	Passeggeri annui

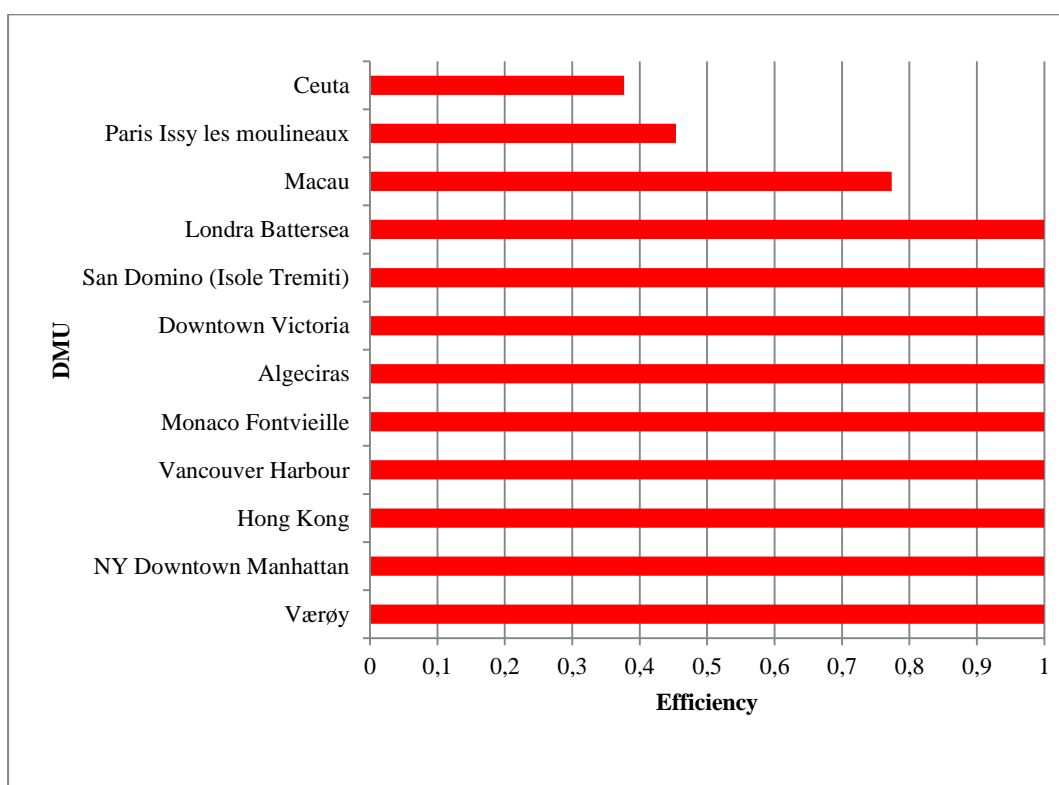


Figura 5.14 – Risultati della Simulazione 6

I risultati (Figura 5.14) mostrano come 9 eliporti su 12 risultino efficienti. Macau, Parigi e Ceuta soffrono la competizione con le altre infrastrutture per i motivi precedentemente indicati, legati principalmente all'interruzione del servizio di trasporto passeggeri. In particolare, guardando le proiezioni di questi tre eliporti sulla frontiera efficiente (Tabella 5.15), si nota come l'eliporto di Parigi abbia 8 piazzole in esubero rispetto al traffico attuale, ed una FATO eccessivamente lunga e larga. L'ipotesi di aprire l'infrastruttura al traffico STOL, date le notevoli dimensioni del sedime, è stata accantonata per via dell'elevato rischio di impatto con gli edifici, alcuni dei quali di notevole altezza, a cui andrebbero incontro i velivoli a decollo ed atterraggio corto. Per quanto riguarda Ceuta, si può affermare che, in vista della riattivazione del servizio elicotteristico, si prospetta un rapido incremento dell'efficienza nel breve-medio periodo.

In generale, si può dunque notare come gli eliporti considerati siano pressoché comparabili tra loro ed il livello medio di efficienza sia elevato.

Ad ogni modo, calcolando le efficienze di scala, si può notare come due eliporti (Hong Kong e New York Downtown Manhattan) siano globalmente efficienti mentre il resto del peer group presenti valori elevati ma comunque inferiori all'unità.

Tabella 5.15 – Proiezioni delle DMU inefficienti (Simulazione 6)

Macau (E=0,77)	Dati	Proiezione	Differenza
FATO (m ²)	1.800	1.393	- 407
Apron (m ²)	3.780	2.219	- 1.561
Numero di stand	3	2	- 1
PAX	145.000	145.000	-
Ceuta (E=0,38)	Dati	Proiezione	Differenza
FATO (m ²)	7.920	1.309	- 6.611
Apron (m ²)	3.200	1.206	- 1.994
Numero di stand	3	1	- 2
PAX	46.754	46.754	-
Paris Issy les moulineaux (E=0,45)	Dati	Proiezione	Differenza
FATO (m ²)	17.500	959	- 16.541
Apron (m ²)	2.000	907	- 1.093
Numero di stand	10	2	- 8
PAX	47.450	47.450	-

5.12 Considerazioni conclusive

A valle delle simulazioni effettuate è possibile trarre le dovute conclusioni. La Tabella 5.16 mostra il quadro riassuntivo delle simulazioni effettuate con le indicazioni del numero di DMU comparate in ciascuna simulazione e il relativo sottoinsieme di infrastrutture efficienti, entrambi differenziato in aeroporti ed eliporti, ed i relativi input ed output utilizzati in ciascuno dei casi analizzati.

Il rapporto tra lo *score* BCC medio ed il numero di DMU per ogni simulazione fornisce una conclusione interessante sull'efficienza media degli aeroporti e degli eliporti che sono stati presi in considerazione nell'ambito del lavoro. Il grafico in Figura 5.15 evidenzia questo fattore, tenuto conto che due delle sei simulazioni effettuate hanno riguardato solamente gli aeroporti, altre due solamente gli eliporti ed altre due un gruppo misto di aeroporti ed eliporti. Per quanto riguarda le due simulazioni miste (Simulazioni 3 e 5), si evince una netta superiorità delle infrastrutture eliportuali, riguardo al rapporto tra i punteggi medi del gruppo e i punteggi totali.

Osservando il paradigma degli input e degli output utilizzati si nota come il parametro “superficie dell'apron” sia stato utilizzato nella totalità delle simulazioni. In relazione ai risultati ottenuti è possibile affermare che il settore in cui l'infrastruttura eliportuale si pone come più efficiente rispetto agli aeroporti è proprio il piazzale di sosta.

Nuovi studi ed indagini potrebbero essere condotti per approfondire questa tematica, anche alla luce dell'applicazione di modelli DEA di più recente formulazione.

Tabella 5.16 – Schema riassuntivo delle simulazioni effettuate

		Sim 1	Sim 2	Sim 3	Sim 4	Sim 5	Sim 6
	DMU:	42	16	20	11	9	12
	di cui aeroporti:	42	16	10	0	6	0
	di cui eliporti:	0	0	10	11	3	12
	DMU efficienti:	21	1	8	1	4	9
	di cui aeroporti:	21	1	1	0	1	0
	di cui eliporti:	0	0	7	1	3	9
	Score BCC medio	0,85	0,67	0,63	0,58	0,54	0,88
	Score BCC medio aeroporti	0,85	0,67	0,36	-	0,31	-
	Score BCC medio eliporti	-	-	0,9	0,58	1	0,88
INPUT	Superficie sedime	X		X		X	
	Stalli sosta	X					
	Superficie terminal	X	X	X	X		
	Superficie apron	X	X	X	X	X	X
	Numero di stand						X
	Pista/FATO		X		X		X
OUTPUT	Passeggeri/anno	X		X	X	X	X
	Movimenti orari		X				
	Movimenti ora di picco	X					
	Capacità area operativa		X				
	Utile o perdita	X					
	R90	X					

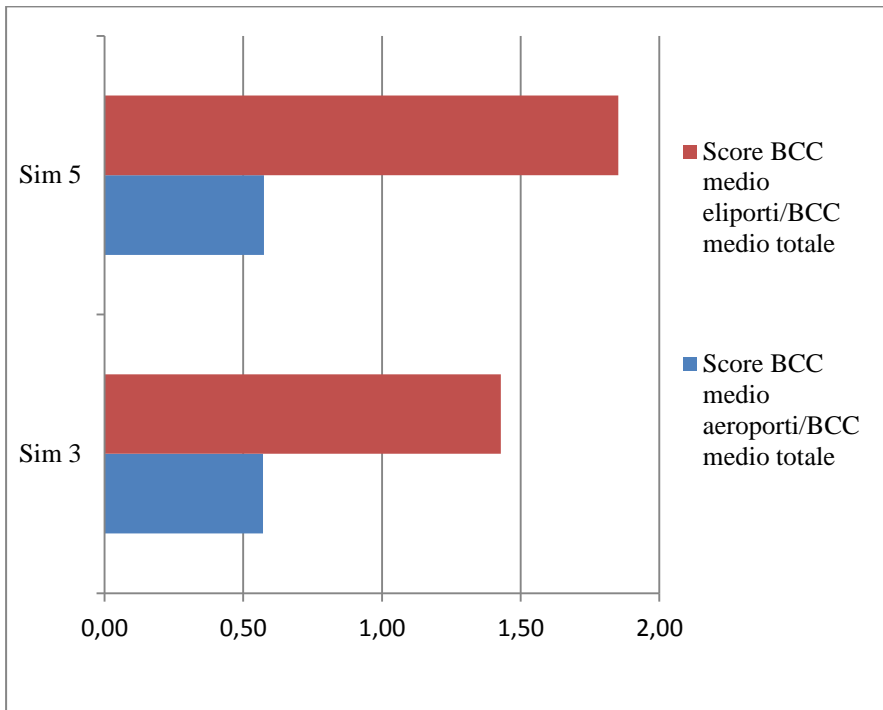


Figura 5.15 – Efficienza media nelle due simulazioni miste

CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha mostrato risultati interessanti, sui quali ulteriori approfondimenti potrebbero rafforzare la tesi sostenuta. In primo luogo, si è riscontrata la necessità di una revisione approfondita delle normative sulla progettazione delle infrastrutture atte ad accogliere gli aeromobili ad ala rotante, con l'obiettivo della standardizzazione e l'unificazione delle indicazioni tecniche sulle specifiche del land-side e dell'air-side eliportuale. Proprio nel terzo capitolo sono mostrati i risultati discordanti delle simulazioni sulla progettazione degli spazi eliportuali, secondo le principali normative di riferimento.

A tal riguardo, non meno importate è l'utilizzo di una terminologia univoca da utilizzarsi sia in fase di pianificazione che in fase operativa, e la definizione di una regolamentazione unica che definisca i principi base della navigazione aerea per gli elicotteri.

In secondo luogo, si può concludere che, secondo quanto esaminato nell'ambito della trattazione e alla luce dei risultati ottenuti, la sfida che l'elicottero per servizi di trasporto civile dovrà affrontare nell'immediato è incentrata essenzialmente sull'abbattimento dei costi di produzione e operativi nonché sulla riduzione delle esternalità negative, prima su tutte l'inquinamento acustico. Per quanto concerne la mitigazione delle problematiche ambientali, le sperimentazioni eseguite hanno evidenziato i *range* di operatività in termini di manovre del mezzo e di traffico che interessa l'infrastruttura. Appare evidente che ulteriori contributi per l'abbattimento delle emissioni sonore devono venire dal fronte tecnologico: sotto questo punto di vista, dunque, le case produttrici dei mezzi e la ricerca scientifica del settore devono sforzarsi per ideare soluzioni innovative sia per quanto riguarda la motoristica che la componentistica, da considerarsi entrambi quasi "obsoleti" o comunque legati alle peculiarità tecniche dei velivoli ad ala fissa.

D'altro canto, le simulazioni eseguite, hanno rimarcato gli enormi vantaggi che l'introduzione dell'elicottero nel sistema dell'aviazione civile potrebbe comportare. Tali vantaggi, fondamentalmente legati alla compatibilità mezzo-infrastruttura, trovano il loro punto di forza nella flessibilità operativa del mezzo, legata non solamente alla straordinaria libertà di movimento di cui gode l'elicottero in aria, la quale si ripercuote sulle manovre al

suolo, ma anche alla capacità dell'aeromobile ad ala rotante di trasportare un elevato numero di passeggeri limitando l'uso degli spazi necessari per l'espletamento delle operazioni di imbarco/sbarco, di carico/scarico dei bagagli, di rifornimento carburante nonché di rullaggio, di decollo e di atterraggio.

L'utilizzo di modelli di ricerca operativa e, in particolare, l'applicazione della *Data Envelopment Analysis*, ha consentito di comparare diversi *set* di infrastrutture aeroportuali ed eliportuali, con il fine di evidenziare quelle inefficienti. Applicando dapprima i modelli DEA di base agli aeroporti e, in seguito, ad un gruppo di eliporti per trasporto civile, è stato possibile riscontrare la vantaggiosità dell'utilizzo di questi ultimi sotto il profilo della migliore utilizzazione degli spazi.

L'applicazione di modelli di *benchmarking* per la comparazione delle infrastrutture eliportuali rappresenta un aspetto innovativo fino ad ora mai preso in considerazione dalla letteratura scientifica del settore. Tale metodologia, può senz'altro essere di ausilio al pianificatore e al progettista per indirizzarlo verso le scelte più idonee, ma può anche servire come prassi di riferimento per gli Enti che regolano il sistema dell'aviazione civile di un Paese, con il fine di monitorare lo "stato di salute" delle infrastrutture in relazione ai parametri che meglio descrivono la funzione di produzione.

Evidentemente lo *step* ulteriore risiede nella valutazione dei costi e dei benefici che influenzano la produttività di una infrastruttura eliportuale, analisi che si prospetta come sviluppo futuro del presente lavoro.

In conclusione, si può affermare che lo sviluppo del trasporto civile con elicotteri deve fondarsi sulla corretta pianificazione e progettazione delle infrastrutture, la quale rappresenta una componente essenziale della complessa architettura teorica e tecnica necessaria per garantire l'operatività del servizio. I modelli analizzati e le simulazioni proposte sono un ausilio, da prendere come esempio o come base per l'implementazione di simulazioni o ulteriori modelli *ad hoc*, in relazione alle diverse casistiche, non solamente per i progettisti, i tecnici ed i gestori delle infrastrutture, ma anche per i decisori che affrontano il problema della migliore utilizzazione delle risorse disponibili.

Gli sviluppi futuri del presente lavoro risiedono nella valutazione accurata dei *reference set* già analizzati nell'ambito del quinto capitolo, nell'applicazione di modelli DEA che esprimono in modo più accurato l'efficienza, nell'ampliamento dei gruppi di infrastrutture da confrontare e nella definizione, tramite l'analisi costi-benefici accennata in precedenza, di una rete di infrastrutture eliportuali primaria, opportunamente integrata alla rete aeroportuale nazionale.

Appendice

x_{mov}	α	3°	9°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°	90°
	73dB											0,01
	70dB											0,23
	67dB											0,47
	64dB	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,89
	61dB	0,59	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	1,59
	58dB	1,37	1,34	1,23	1,19	1,22	1,21	1,21	1,20	1,20	1,20	2,79
	55dB	3,56	2,54	2,44	2,40	2,77	2,77	2,76	2,76	2,76	2,77	5,12
	52dB											
60	85dB											
	82dB											
	79dB											
	76dB											
	73dB											0,07
	70dB											0,29
	67dB											0,55
	64dB	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	1,05
	61dB	0,75	0,70	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	1,86
	58dB	1,73	1,63	1,49	1,45	1,49	1,48	1,48	1,47	1,47	1,46	3,23
	55dB	4,39	2,92	3,08	3,10	3,74	3,73	3,73	3,73	3,73	3,74	6,31
	52dB											
70	85dB											
	82dB											
	79dB											
	76dB											
	73dB											0,13
	70dB											0,34
	67dB	0,07	0,06	0,0555	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,62
	64dB	0,37	0,36	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	1,20
	61dB	0,92	0,86	0,84	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	2,10
	58dB	2,07	1,89	1,74	1,70	1,75	1,74	1,73	1,73	1,73	1,72	3,63
	55dB	5,09	3,29	4,10	4,06	4,45	4,45	4,44	4,44	4,44	4,44	7,19
	52dB											
80	85dB											
	82dB											
	79dB											
	76dB											
	73dB											0,17
	70dB											0,39
	67dB	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,70
	64dB	0,45	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	1,33
	61dB	1,08	1,03	0,97	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	2,34
	58dB	2,43	2,12	1,97	1,94	2,01	2,00	2,00	1,99	1,99	1,99	4,03
	55dB	5,71	3,69	4,80	4,77	5,05	5,05	5,04	5,04	5,04	5,04	7,96
	52dB											
90	85dB											
	82dB											
	79dB											
	76dB											
	73dB											0,20
	70dB											0,43
	67dB	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,80
	64dB	0,52	0,49	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	1,46
	61dB	1,23	1,19	1,10	1,07	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	2,57
	58dB	3,01	2,34	2,20	2,16	2,32	2,35	2,35	2,34	2,34	2,34	4,54
	55dB	6,26	4,10	5,36	5,33	5,59	5,58	5,58	5,57	5,57	5,58	8,66
	52dB											
100	85dB											
	82dB											
	79dB											
	76dB											
	73dB											0,23
	70dB											0,47
	67dB	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,18	0,22	0,22	0,89
	64dB	0,59	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,49	0,55	0,55	1,60
	61dB	1,38	1,35	1,23	1,19	1,22	1,21	1,21	1,07	1,20	1,20	2,80
	58dB	3,57	2,54	2,45	2,41	2,78	2,78	2,77	2,34	2,77	2,78	5,13
	55dB	6,75	4,46	5,87	5,84	6,06	6,05	6,05	5,57	6,05	6,05	9,30
	52dB											

Bell 407

X _{mov}	α	3°	9°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°	90°	
10	85dB												
	82dB												
	79dB												
	76dB												
	73dB												
	70dB											0,17	
	67dB											0,40	
	64dB											0,75	
	61dB	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	1,44
	58dB	0,62	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	2,57
	55dB	1,41	1,42	1,35	1,32	1,31	1,31	1,31	1,30	1,30	1,30	1,30	4,46
20	85dB												
	82dB												
	79dB												
	76dB												
	73dB											0,17	
	70dB											0,40	
	67dB											0,75	
	64dB	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	1,44	
	61dB	0,62	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	2,57	
	58dB	1,41	1,43	1,36	1,32	1,31	1,31	1,31	1,31	1,30	1,30	4,46	
	55dB	3,02	2,78	2,63	2,60	2,59	2,59	2,58	2,58	2,63	2,64	7,63	
30	85dB												
	82dB												
	79dB												
	76dB											0,07	
	73dB											0,30	
	70dB											0,57	
	67dB	0,15	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	1,13	
	64dB	0,45	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	2,03	
	61dB	1,04	1,03	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,98	3,58	
	58dB	2,20	2,11	2,00	1,97	1,96	1,96	1,96	1,95	1,95	1,95	6,00	
	55dB	5,07	4,65	4,68	4,65	4,64	4,64	4,63	4,63	4,63	4,63	10,92	
40	85dB												
	82dB												
	79dB												
	76dB											0,17	
	73dB											0,40	
	70dB											0,75	
	67dB	0,26	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	1,44	
	64dB	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	2,58	
	61dB	1,41	1,43	1,36	1,33	1,32	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	4,47	
	58dB	3,03	2,79	2,64	2,61	2,60	2,59	2,59	2,59	2,59	2,65	7,65	
	55dB	6,45	6,03	5,95	5,93	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	13,37	
50	85dB												
	82dB												
	79dB											0,01	
	76dB											0,24	
	73dB											0,49	
	70dB	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,96	
	67dB	0,36	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	1,74	
	64dB	0,84	0,82	0,81	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	3,11	
	61dB	1,83	1,79	1,70	1,67	1,66	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	5,28	
	58dB	4,16	3,76	3,74	3,72	3,71	3,71	3,70	3,70	3,70	3,70	9,47	
	55dB	7,57	7,12	7,03	7,00	6,99	6,99	6,98	6,98	6,98	6,98	15,40	
60	85dB												
	82dB												
	79dB											0,07	

Appendice

X _{mov}	α	3°	9°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°	90°
	76dB											0,30
	73dB											0,57
	70dB	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	1,14
	67dB	0,45	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	2,03
	64dB	1,05	1,03	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	3,58
	61dB	2,21	2,12	2,00	1,98	1,97	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	6,01
	58dB	5,08	4,66	4,69	4,66	4,65	4,65	4,65	4,64	4,64	4,65	10,94
	55dB	8,52	8,06	7,96	7,93	7,92	7,91	7,91	7,91	7,91	7,91	17,17
70	85dB											
	82dB											
	79dB											0,14
	76dB											0,35
	73dB											0,66
	70dB	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	1,30
	67dB	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	2,31
	64dB	1,24	1,23	1,19	1,15	1,15	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	4,04
	61dB	2,59	2,44	2,32	2,29	2,28	2,27	2,27	2,27	2,25	2,27	6,74
	58dB	5,82	5,42	5,37	5,34	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	12,23
55dB	9,36	8,87	8,76	8,73	8,72	8,72	8,71	8,71	8,71	8,71	18,77	
80	85dB											
	82dB											
	79dB											0,17
	76dB											0,40
	73dB											0,76
	70dB	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	1,45
	67dB	0,62	0,61	0,61	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	2,58
	64dB	1,42	1,43	1,36	1,33	1,32	1,32	1,31	1,31	1,31	1,31	4,48
	61dB	3,04	2,80	2,64	2,61	2,60	2,60	2,59	2,59	2,65	2,66	7,67
	58dB	6,46	6,04	5,97	5,94	5,93	5,93	5,93	5,93	5,96	5,93	13,40
55dB	10,12	9,60	9,49	9,46	9,45	9,44	9,44	9,44	9,44	9,44	20,25	
90	85dB											
	82dB											
	79dB											0,21
	76dB											0,45
	73dB											0,86
	70dB	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	1,59
	67dB	0,73	0,71	0,71	0,71	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	2,85
	64dB	1,64	1,62	1,53	1,50	1,49	1,49	1,49	1,48	1,48	1,48	4,90
	61dB	3,60	3,28	3,12	3,17	3,16	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17	8,57
	58dB	7,05	6,61	6,52	6,49	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	14,45
55dB	10,83	10,28	10,16	10,13	10,12	10,11	10,11	10,11	10,11	10,11	21,66	
100	85dB											
	82dB											
	79dB											0,21
	76dB											0,45
	73dB	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,86
	70dB	0,36	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	1,59
	67dB	0,84	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	2,85
	64dB	1,83	1,80	1,70	1,67	1,66	1,66	1,65	1,65	1,65	1,65	4,90
	61dB	4,17	3,77	3,75	3,73	3,72	3,72	3,72	3,71	3,71	3,71	8,57
	58dB	7,58	7,14	7,04	7,01	7,00	7,00	6,99	6,99	6,99	6,99	14,45
55dB	11,49	10,91	10,79	10,76	10,74	10,74	10,73	10,73	10,74	10,73	21,66	

AW109

x_{mov}	α	3°	6°	9°	12°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°	90°
10	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													
	73dB													
	70dB													
	67dB													0,22
	64dB													0,45
	61dB	0,03		0,02	0,01									0,87
	58dB	0,20	0,15	0,16	0,13	0,04								1,83
55dB	2,44	1,48	1,12	0,99	0,86	0,78	0,75	0,72	0,70	0,70	0,70	0,70	3,55	
20	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													
	73dB													
	70dB													0,22
	67dB													0,45
	64dB	0,03		0,02	0,01									0,88
	61dB	0,20	0,15	0,16	0,13	0,04								1,83
	58dB	2,45	1,48	1,13	0,99	0,86	0,78	0,75	0,72	0,71	0,70	0,70	0,70	3,55
55dB	4,98	3,59	3,19	3,01	2,84	2,72	2,67	2,63	2,61	2,60	2,59	2,59	7,40	
30	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													
	73dB													0,14
	70dB													0,35
	67dB													0,63
	64dB	0,11	0,03	0,08	0,05									1,36
	61dB	1,12	0,74	0,57	0,51	0,44	0,39	0,37	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	2,71
	58dB	3,92	2,60	2,16	1,96	1,84	1,69	1,59	1,59	1,55	1,53	1,52	1,51	5,41
55dB	6,62	5,23	4,81	4,60	4,38	4,22	4,16	4,11	4,08	4,07	4,07	4,07	10,57	
40	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													
	73dB													0,22
	70dB													0,45
	67dB	0,03		0,02	0,01									0,88
	64dB	0,20	0,15	0,16	0,13	0,04	0,01							1,84
	61dB	2,46	1,49	1,13	0,99	0,87	0,78	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70	0,71	3,56
	58dB	4,98	3,59	3,20	3,02	2,85	2,73	2,68	2,63	2,62	2,60	2,60	2,60	7,42
55dB	7,93	6,41	5,95	5,72	5,48	5,33	5,26	5,20	5,17	5,16	5,15	5,15	13,15	
50	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													0,06
	73dB													0,29
	70dB													0,54
	67dB	0,07		0,05	0,03									1,12
	64dB	0,54	0,36	0,27	0,24	0,15	0,13	0,12	0,06	0,12	0,12	0,11	0,12	2,28
	61dB	3,28	2,04	1,70	1,53	1,33	1,17	1,13	1,08	1,06	1,05	1,04	1,04	4,39
	58dB	5,87	4,51	4,09	3,89	3,68	3,55	3,50	3,45	3,43	3,42	3,41	3,42	9,12
55dB	9,10	7,44	6,89	6,63	6,37	6,20	6,14	6,07	6,04	6,02	6,02	6,02	15,60	
60	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													0,14
	73dB													0,35

Appendice

x_{mov}	α	3°	6°	9°	12°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°	90°
	70dB													0,63
	67dB	0,12	0,03	0,08	0,05									1,36
	64dB	1,13	0,75	0,57	0,52	0,45	0,40	0,37	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	2,72
	61dB	3,93	2,61	2,17	1,97	1,85	1,70	1,60	1,59	1,56	1,54	1,52	1,52	5,42
	58dB	6,63	5,24	4,82	4,61	4,38	4,23	4,17	4,11	4,09	4,08	4,07	4,08	10,59
	55dB	10,14	8,37	7,77	7,46	7,16	6,97	6,90	6,82	6,79	6,77	6,77	6,77	17,96
70	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													0,18
	73dB													0,40
	70dB	0,02												0,75
	67dB	0,16	0,09	0,12	0,09									1,60
	64dB	1,95	1,19	0,86	0,77	0,68	0,61	0,58	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53	3,14
	61dB	4,48	3,12	2,71	2,57	2,37	2,23	2,17	1,96	2,10	2,09	2,08	2,07	6,50
	58dB	7,30	5,86	5,43	5,21	4,98	4,82	4,76	4,70	4,67	4,66	4,65	4,65	11,93
55dB	11,09	9,20	8,57	8,24	7,89	7,67	7,58	7,50	7,46	7,45	7,44	7,44	20,27	
80	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													0,22
	73dB													0,45
	70dB	0,03		0,02	0,01									0,88
	67dB	0,20	0,15	0,16	0,13	0,04	0,01							1,84
	64dB	2,47	1,49	1,14	1,00	0,87	0,79	0,76	0,73	0,71	0,71	0,71	0,71	3,57
	61dB	4,99	3,60	3,20	3,03	2,85	2,73	2,68	2,64	2,62	2,61	2,61	2,61	7,44
	58dB	7,94	6,42	5,96	5,73	5,49	5,34	5,27	5,21	5,18	5,17	5,16	5,16	13,18
55dB	12,00	9,95	9,29	8,95	8,59	8,35	8,25	8,15	8,11	8,09	8,08	8,08	22,48	
90	85dB													
	82dB													
	79dB													0,03
	76dB													0,25
	73dB													0,50
	70dB	0,05		0,03	0,02									1,01
	67dB	0,32	0,23	0,21	0,18	0,09	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	2,07
	64dB	2,90	1,76	1,47	1,28	1,07	0,97	0,94	0,90	0,89	0,88	0,88	0,88	3,98
	61dB	5,46	4,09	3,68	3,49	3,31	3,19	3,14	3,10	3,07	3,06	3,06	3,06	8,33
	58dB	8,55	6,95	6,44	6,20	5,96	5,79	5,73	5,66	5,63	5,62	5,62	5,62	14,41
55dB	12,83	10,64	9,96	9,60	9,22	8,97	8,87	8,77	8,72	8,70	8,70	8,70	24,66	
100	85dB													
	82dB													
	79dB													0,07
	76dB													0,29
	73dB													0,54
	70dB	0,07	0,01	0,06	0,03									1,12
	67dB	0,55	0,36	0,27	0,24	0,16	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	2,29
	64dB	3,29	2,05	1,70	1,54	1,34	1,18	1,13	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	4,40
	61dB	5,88	4,52	4,10	3,90	3,69	3,56	3,51	3,46	3,44	3,43	3,42	3,42	9,14
	58dB	9,11	7,45	6,90	6,64	6,38	6,21	6,15	6,08	6,05	6,03	6,03	6,03	15,63
55dB	13,63	11,34	10,58	10,20	9,82	9,55	9,45	9,33	9,29	9,27	9,26	9,27	26,78	

AW139

x_{mov}	α	3°	6°	9°	12°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°	90°
10	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													
	73dB													0,05
	70dB													0,26
	67dB													0,51
	64dB													1,00
	61dB	0,03												1,90
	58dB	0,42	0,32	0,32	0,27	0,26	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	3,63
55dB	2,45	1,59	1,38	1,28	1,28	1,07	1,03	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	7,21	
20	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													0,05
	73dB													0,27
	70dB													0,51
	67dB													1,01
	64dB	0,03												1,91
	61dB	0,42	0,32	0,32	0,28	0,26	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	3,64
	58dB	2,46	1,60	1,38	1,29	1,29	1,07	1,03	1,01	1,00	0,99	0,99	0,98	7,23
55dB	5,31	4,60	4,40	4,32	4,33	4,17	4,15	4,13	4,12	4,12	4,12	4,12	14,54	
30	85dB													
	82dB													
	79dB													
	76dB													0,18
	73dB													0,40
	70dB													0,73
	67dB													1,46
	64dB	0,19	0,06	0,07	0,03	0,01	0,01	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	2,79
	61dB	1,09	0,87	0,82	0,78	0,77	0,61	0,57	0,55	0,54	0,53	0,53	0,53	5,29
	58dB	4,14	3,39	3,19	3,09	3,19	2,99	2,97	2,95	2,93	2,93	2,94	2,95	11,32
55dB	7,14	6,36	6,12	6,00	6,01	5,81	5,78	5,76	5,74	5,74	5,74	5,74	20,25	
40	85dB													
	82dB													
	79dB													0,05
	76dB													0,27
	73dB													0,51
	70dB													1,01
	67dB	0,03												1,91
	64dB	0,42	0,32	0,32	0,28	0,27	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	3,64
	61dB	2,47	1,60	1,39	1,29	1,29	1,08	1,04	1,02	1,01	1,00	0,99	0,99	7,25
	58dB	5,32	4,61	4,41	4,33	4,34	4,18	4,16	4,14	4,13	4,13	4,13	4,13	14,57
55dB	8,61	7,76	7,49	7,36	7,37	7,14	7,10	7,08	7,06	7,06	7,06	7,06	25,46	
50	85dB													
	82dB													
	79dB													0,13
	76dB													0,34
	73dB													0,61
	70dB													1,24
	67dB	0,06		0,02	0,02									2,35
	64dB	0,68	0,57	0,53	0,48	0,47	0,37	0,34	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	4,47
	61dB	3,40	2,50	2,19	2,15	2,16	2,05	2,11	2,09	2,07	2,06	2,06	2,07	9,46
	58dB	6,30	5,51	5,33	5,22	5,24	5,06	5,04	5,02	5,01	5,01	5,01	5,01	17,49
55dB	9,90	8,95	8,65	8,50	8,51	8,27	8,23	8,20	8,19	8,19	8,19	8,20	30,36	
60	85dB													
	82dB													
	79dB													0,18
	76dB													0,40
	73dB													0,73

Appendice

x_{mov}	α	3°	6°	9°	12°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°	90°
	70dB													1,47
	67dB	0,19	0,06	0,07	0,04	0,01	0,01	0,04	0,06	0,08	0,08	0,09	0,10	2,80
	64dB	1,10	0,87	0,83	0,78	0,78	0,61	0,58	0,55	0,54	0,54	0,53	0,53	5,30
	61dB	4,15	3,40	3,20	3,11	3,20	3,00	2,98	2,96	2,95	2,94	2,95	2,96	11,35
	58dB	7,15	6,37	6,13	6,01	6,02	5,82	5,79	5,77	5,75	5,75	5,75	5,75	20,29
	55dB	11,06	10,03	9,68	9,52	9,53	9,28	9,24	9,21	9,20	9,20	9,20	9,20	35,06
70	85dB													
	82dB													0,01
	79dB													0,23
	76dB													0,46
	73dB													0,88
	70dB	0,01												1,69
	67dB	0,31	0,21	0,23	0,19	0,17	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	3,24
	64dB	1,89	1,23	1,09	1,02	1,02	0,83	0,80	0,78	0,76	0,76	0,75	0,75	6,08
	61dB	4,78	4,08	3,90	3,82	3,83	3,66	3,64	3,62	3,61	3,61	3,61	3,61	13,03
	58dB	7,92	7,11	6,85	6,73	6,73	6,52	6,48	6,45	6,44	6,44	6,44	6,44	22,97
55dB	12,14	11,05	10,68	10,49	10,50	10,20	10,15	10,12	10,11	10,11	10,11	10,11	39,57	
80	85dB													
	82dB													0,05
	79dB													0,27
	76dB													0,51
	73dB													1,01
	70dB	0,03												1,92
	67dB	0,42	0,32	0,32	0,28	0,27	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	3,65
	64dB	2,48	1,61	1,40	1,30	1,30	1,09	1,05	1,02	1,01	1,00	1,00	1,00	7,28
	61dB	5,33	4,62	4,42	4,34	4,35	4,19	4,17	4,15	4,14	4,14	4,13	4,14	14,60
	58dB	8,62	7,77	7,50	7,33	7,38	7,16	7,11	7,09	7,08	7,07	7,07	7,07	25,51
55dB	13,15	12,00	11,61	11,42	11,42	11,10	11,03	11,00	10,99	10,98	10,99	10,99	43,95	
90	85dB													
	82dB													0,09
	79dB													0,30
	76dB													0,56
	73dB													1,13
	70dB	0,04		0,01	0,01									2,14
	67dB	0,54	0,45	0,42	0,38	0,37	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	4,06
	64dB	2,97	2,08	1,78	1,72	1,67	1,59	1,64	1,62	1,61	1,59	1,59	1,59	8,44
	61dB	5,84	5,11	4,89	4,80	4,82	4,65	4,63	4,61	4,60	4,60	4,60	4,60	16,08
	58dB	9,29	8,39	8,10	7,96	7,97	7,73	7,69	7,67	7,65	7,65	7,65	7,65	27,99
55dB	14,09	12,87	12,48	12,28	12,29	11,95	11,89	11,85	11,84	11,83	11,84	11,84	48,26	
100	85dB													
	82dB													0,13
	79dB													0,34
	76dB													0,61
	73dB													1,25
	70dB	0,06		0,02	0,02									2,36
	67dB	0,68	0,57	0,54	0,48	0,48	0,37	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	4,48
	64dB	3,41	2,51	2,20	2,16	2,17	2,06	2,12	2,10	2,08	2,08	2,07	2,08	9,49
	61dB	6,31	5,56	5,34	5,23	5,25	5,07	5,05	5,03	5,02	5,01	5,02	5,02	17,53
	58dB	9,92	8,97	8,66	8,51	8,52	8,28	8,24	8,22	8,21	8,20	8,21	8,21	30,42
55dB	15,01	13,69	13,29	13,08	13,08	12,75	12,68	12,65	12,63	12,63	12,63	12,64	52,45	

Database di partenza utilizzato per le Simulazioni DEA. Parametri caratteristici degli aeroporti e degli eliporti comparati.

Aeroporto	capacità oraria (mov/h) terminal	capacità oraria (mov/h) apron	capacità oraria (mov/h) pista	capacità (pax/anno) terminal	capacità (pax/anno) apron	capacità (pax/anno) pista	sedime (ha)	terminal (m ²)	superficie apron (m ²)	superficie pista principale (m ²)	numero di stand
ALBENGA	7	2	3	45.000	12.000	112.000	110	1.350	11.000	63.000	2
ALGHERO	10	14	14	2.700.000	3.800.000	4.840.000	296	17.000	80.000	135.000	17
ANCONA	20	14	14	1.600.000	1.200.000	1.162.000	194	15.450	60.000	133.650	17
AOSTA	9	5	3	67.000	37.000	123.000	34	2.000	11.000	37.500	6
BARI	21	15	20	4.500.000	3.300.000	5.582.000	354	30.800	104.000	109.800	18
BERGAMO	22	27	24	6.600.000	8.000.000	9.293.000	296	34.150	190.000	132.300	32
BOLOGNA	31	22	20	6.000.000	4.200.000	4.961.000	271	44.000	156.000	126.450	27
BOLZANO	2	2	7	50.000	46.000	574.000	78	800	25.000	39.000	3
BRESCIA	14	20	14	800.000	1.100.000	1.356.000	350	7.250	49.000	130.500	24
BRINDISI	9	11	10	2.000.000	2.400.000	2.794.000	288	13.150	60.000	137.250	13
CAGLIARI	26	30	14	6.000.000	6.900.000	4.145.000	312	41.000	156.000	126.450	36
CATANIA	20	33	24	6.300.000	10.200.000	9.740.000	235	43.110	180.000	109.800	39
CROTONE	3	6	7	225.000	489.000	1.747.000	155	3.600	52.000	90.000	7
CUNEO	4	14	6	272.000	921.000	1.162.000	179	4.350	74.000	104.400	17
ELBA	1	2	2	16.000	24.000	157.000	21	475	12.000	25.300	2
FIRENZE	8	23	15	1.300.000	3.600.000	2.936.000	120	7.550	140.000	50.400	28
FOGGIA	11	4	9	147.000	58.000	369.000	211	2.350	43.000	68.150	5
FORLÌ	3	14	16	900.000	3.700.000	7.744.000	93	3.730	63.000	115.200	17
GENOVA	15	27	25	1.900.000	3.400.000	4.033.000	164	12.550	200.000	131.400	32
GROSSETO	2	2	10	47.000	45.000	1.490.000	317	1.400	13.000	105.750	2
LAMEZIA	11	18	14	3.200.000	5.100.000	5.214.000	244	15.700	124.000	108.900	21
MILANO Linate	40	30	39	11.000.000	8.300.000	13.939.000	400	76.300	440.000	147.000	36
MILANO Malpensa	105	142	70	38.500.000	52.200.000	28.757.000	1.235	288.500	1.216.000	235.200	170
NAPOLI	31	27	30	6.300.000	8.200.000	9.082.000	258	30.700	200.000	118.350	29
OLBIA	40	29	12	6.300.000	4.600.000	2.453.000	192	43.800	252.000	110.250	35
PALERMO	19	24	45	5.300.000	6.700.000	13.403.000	391	35.400	148.000	199.800	30
PARMA	3	8	7	400.000	1.100.000	1.773.000	93	3.730	26.000	95.850	9
PERUGIA	1	4	4	72.000	261.000	745.000	207	1.150	25.000	99.000	5
PESCARA	9	4	7	1.200.000	600.000	1.616.000	149	11.150	40.000	108.900	5
PISA	15	18	14	4.100.000	4.700.000	5.597.000	378	48.940	160.000	138.000	21
REGGIO CALABRIA	4	5	7	700.000	800.000	1.981.000	140	6.350	14.400	90.000	6
RIMINI	10	8	14	1.600.000	1.200.000	4.066.000	365	15.500	60.000	133.650	9
ROMA Ciampino	11	34	22	4.000.000	12.400.000	10.403.000	228	20.950	205.000	103.870	41
ROMA Fiumicino	104	108	90	42.500.000	43.100.000	41.884.000	1.590	318.200	797.000	234.600	124
SIENA	2	3	10	15.000	20.000	447.000	190	450	18.000	42.000	3
TARANTO	4	1	7	117.000	25.000	1.147.000	321	3.500	110.000	144.000	1
TORINO	41	26	28	7.500.000	4.700.000	6.609.000	321	51.150	16.000	198.000	31
TRAPANI	8	10	7	1.300.000	1.600.000	2.085.000	585	9.500	77.000	118.800	12
TREVISO	7	13	16	1.900.000	3.400.000	6.205.000	147	11.500	70.000	108.900	15
TRIESTE	20	27	14	3.400.000	4.500.000	2.563.000	247	23.565	104.000	135.000	32
VENEZIA	29	31	41	7.800.000	8.300.000	14.448.000	335	53.000	381.000	148.500	37
VERONA	12	25	20	3.200.000	6.700.000	5.771.000	371	21.800	142.000	138.150	30

Appendice

Aeroporto	numero di passeggeri annui	numero di passeggeri nell'ora di picco	numero di movimenti annui	numero di movimenti orari medi	numero di movimenti nell'ora di picco	posti auto	utile/perdita	numero di residenti che possono raggiungere l'infrastruttura in macchina nei 90 minuti
ALBENGA	2.294	9	5.211	1	1	100	-€ 252.300	1.410
ALGHERO	1.511.723	484	14.908	0	1	824	-€ 1.847.200	380
ANCONA	603.450	204	17.215	3	5	621	€ 64.100	3.000
AOSTA	793	9	12.468	2	1	80	-€ 43.700	3.250
BARI	3.708.441	864	32.953	5	12	1.810	€ 921.900	3.160
BERGAMO	8.338.656	2.263	64.390	10	22	5.500	€ 10.636.000	11.700
BOLOGNA	5.815.971	1.447	62.041	10	22	1400	€ 4.506.400	8.850
BOLZANO	54.353	58	14.702	2	3	100	-€ 178.500	1.500
BRESCIA	27.704	129	16.512	3	5	800	-€ 4.870.200	12.500
BRINDISI	2.050.654	339	12.921	2	5	3.135	€ 921.900	2.700
CAGLIARI	3.685.564	1.024	36.797	6	13	2.133	€ 337.500	930
CATANIA	6.774.782	2.109	58.655	9	19	1.800	€ 3.339.200	2.610
CROTONE	123.811	74	2.693	0	1	100	-€ 708.400	450
CUNEO	221.022	65	6.430	1	1	400	-€ 1.450.400	4.000
ELBA	11.760	23	4.045	1	1	30	-€ 608.200	70
FIRENZE	1.878.865	675	36.678	6	13	900	€ 2.814.000	5.500
FOGGIA	61.451	24	4.542	1	2	93	€ 921.900	3.100
FORLI'	344.314	386	9.135	1	3	1.070	-€ 5.757.000	3.650
GENOVA	1.393.871	413	27.257	4	10	820	€ 120.200	7.200
GROSSETO	4.258	10	1.441	0	0	70	-€ 86.000	650
LAMEZIA	2.281.929	524	14.960	2	5	677	-€ 2.077.400	1.070
MILANO Linate	9.061.749	3.255	154.039	25	34	6.968	€ 49.403.000	13.820
MILANO Malpensa	19.087.098	6.400	218.476	35	58	7.785	€ 49.403.000	11.200
NAPOLI	5.725.033	2.539	68.958	11	24	1.500	€ 7.611.300	6.150
OLBIA	1.816.950	618	32.172	5	11	2.378	€ 2.110.400	300
PALERMO	4.969.031	1.550	49.961	8	16	1.364	-€ 137.000	1.730
PARMA	268.618	144	10.995	2	2	189	-€ 4.095.100	11.100
PERUGIA	173.285	94	7.591	1	2	400	-€ 889.400	2.000
PESCARA	545.664	201	11.173	2	3	500	-€ 542.000	1.980
PISA	4.517.166	1.382	42.034	7	15	2.500	€ 3.534.600	3.350
REGGIO CALABRIA	519.585	246	9.426	2	3	250	-€ 3.565.500	1.170
RIMINI	916.239	211	8.355	1	3	300	-€ 7.629.300	3.086
ROMA Ciampino	4.776.919	1.686	55.422	9	13	1.220	€ 39.686.200	5.890
ROMA Fiumicino	37.406.099	10.445	341.242	55	83	10.647	€ 39.686.200	5.530
SIENA	2.070	8	3.963	1	1	30	-€ 2.079.100	2.420
TARANTO	665	4	360	0	0	1.800	€ 921.900	2.900
TORINO	3.700.108	1.192	53.713	9	19	3.000	€ 3.496.200	8.100
TRAPANI	1.469.482	266	7.641	1	3	563	-€ 2.608.400	1.540
TREVISO	1.067.882	795	19.435	3	6	1.074	-€ 1.147.300	5.300
TRIESTE	856.371	274	20.750	3	5	1.100	€ 151.700	2.950
VENEZIA	8.507.691	2.402	80.117	13	26	6.200	€ 22.964.000	6.600
VERONA	3.342.804	1.182	40.807	7	13	3.325	€ 1.455.400	12.980

Appendice

Eliporto	sedime (m²)	FATO (m²)	superficie apron (m²)	terminal (m²)	numero di stand	numero di passeggeri all'anno
Algeciras	2.420	1.624	2.420	650	1	25.318
Ceuta	27.950	7.920	3.200	482	3	46.754
Downtown Victoria	5.741	875	1.248	270	4	101.000
Hong Kong	4.800	2.450	2.450	4.560	2	250.000
Londra Battersea	4.280	640	2.500	750	3	100.000
Macau	6.987	1.800	3.780	650	3	145.000
Monaco Fontvieille	6.794	650	2.440	850	6	106.000
NY Downtown Manhattan	6.825	400	4.359	800	13	234.185
Paris Issy les moulineaux	70.000	17.500	2.000	360	10	47.450
San Domino (Isole Tremiti)	5.400	1.225	1.225	800	1	20.000
Værøy	1.980	1.000	700	200	1	10.210
Vancouver Harbour	5.940	900	1.200	230	4	100.000

GLOSSARIO

AEO

All engines operating

AP

Aerodrome Panel

Area di avvicinamento finale e di decollo (FATO)

un'area definita per le operazioni degli elicotteri, sulla quale si completa la fase finale della manovra di volo stazionario o di atterraggio, e dalla quale inizia la manovra di decollo. Nel caso di elicotteri che operano in classe 1 di prestazioni, la FATO include l'area disponibile per l'interruzione del decollo

Area sgombra

un'area rettangolare, su terra o su acqua, sotto il controllo dell'autorità competente, scelta o preparata come area idonea al di sopra della quale un velivolo può eseguire parte della sua salita iniziale fino a una altezza stabilita

BVI (Blade Vortex Interaction)

effetto che si verifica ogni qual volta una pala del rotore passa all'interno del vortice generato dalla rotazione delle pale precedenti ad essa, nel verso di rotazione del rotore. Ciò provoca un cambiamento rapido del carico agente sulla pala e, di conseguenza, un incremento impulsivo di rumore generato da questa modifica del carico. Questo tipo di rumore si genera sia al di sopra che al di sotto del rotore e la direzione verso la quale si diffonde dipende dal preciso assetto delle pale. Generalmente, la direzione predominante verso la quale il rumore si diffonde è verso il basso e in avanti, mentre nella direzione opposta si diffonde verso il basso e all'indietro. È stato dimostrato che i fattori principali che governano il fenomeno sono la distanza tra la pala ed il vortice, la consistenza del vortice al momento dell'interazione con la pala e l'angolo d'incidenza tra la pala e l'asse del vortice

Categoria A (elicotteri)

un elicottero plurimotore progettato con caratteristiche di isolamento di motori e sistemi specificati nei codici di aeronavigabilità e in grado di effettuare operazioni utilizzando dati di decollo e atterraggio stabiliti secondo un concetto di avarie critiche al motore che assicura una superficie designata e capacità prestazionali adeguate per la continuazione in sicurezza del volo o per l'interruzione in sicurezza del decollo nel caso di avaria al motore

Categoria B (elicotteri)

un elicottero monomotore o plurimotore che non soddisfa gli standard di categoria A. Gli elicotteri di categoria B non hanno una capacità garantita di continuare il volo in sicurezza nel caso di avaria al motore e si presume che venga eseguito un atterraggio imprevisto

D (“D” factor)

vedi OL

Distanza disponibile per il decollo (TODAH)

nel caso degli elicotteri, la lunghezza dell’area di avvicinamento finale e di decollo più la lunghezza dell’area libera per l’elicottero (se conosciuta) dichiarata disponibile e idonea affinché gli elicotteri completino il decollo

Distanza disponibile per la manovra di mancato decollo (RTODAH)

la lunghezza dell’area di avvicinamento finale e decollo dichiarata disponibile e adatta per un elicottero di prestazioni in Classe 1 a completare la manovra di mancato decollo

Distanza DR

la distanza orizzontale percorsa dall’elicottero dalla fine della TODAH

Distanza richiesta per il decollo (TODRH)

nel caso degli elicotteri, la distanza richiesta dall’inizio del decollo al punto in cui vengono raggiunti la velocità di sicurezza al decollo (VTOSS), un’altezza selezionata e un gradiente di salita positivo, a seguito dell’avaria al motore critico riconosciuta al TDP e con i rimanenti motori funzionanti entro i limiti operativi approvati

Distanza richiesta per la manovra di mancato decollo (RTODRH)

la distanza orizzontale necessaria dall’inizio del decollo fino al punto in cui l’elicottero giunge a completo arresto, a seguito di avaria motore e interruzione di decollo al TDP

DLB Dynamic Load Bearing

carico dinamico, pari a 1,5 volte il peso massimo al decollo dell’elicottero (applicato attraverso 2 punti di contatto) secondo la circolare FAA

DPATO

Defined Point After Take-Off

Elicottero

aeromobile più pesante dell'aria, sostenuto in volo principalmente dalla reazione dell'aria su uno o più rotori moto-propulsi su un asse sostanzialmente verticale

Eliporto

un aerodromo o un'area definita su una struttura intesa ad essere utilizzata interamente o in parte per l'atterraggio, il decollo e la movimentazione al suolo degli elicotteri

Elisuperficie

un'aviosuperficie destinata all'uso esclusivo degli elicotteri, che non sia un eliporto.

Fasi critiche del volo

nel caso degli elicotteri, il rullaggio, il volo stazionario, l'avvicinamento finale, il mancato avvicinamento, l'atterraggio e qualsiasi altra fase del volo a discrezione del pilota in comando o del comandante

FATO

Final Approach and Take-Off Area

Flush light

luce annegata nella pavimentazione della FATO o della TLOF

Free-field

procedura libera

GEA

Ground Effect Area

H/RFM

Helicopter/Rotorcraft Flight Manual

HDWG

Heliport Design Working Group

HELICOPTER CLEARWAY

un'area definita che si estende sul terreno o sull'acqua sulla quale un elicottero operante in classe di prestazione 1 può accelerare e raggiungere una determinata altezza (non deve avere particolari requisiti di portanza). La clearway si estende dalla fine della FATO fino alla proiezione, sull'asse della FATO, del punto di altezza minima rispetto al suolo (10,7 metri), della traiettoria descritta da un elicottero in decollo con un motore in avaria

HRP

Heliport Reference Point

HSI

Questo tipo di rumore è causato dal flusso impulsivo transonico che agisce sulla pala, nella fase di avanzamento di quest'ultima. Tale rumore si diffonde in genere in avanti rispetto al senso di rotazione della pala sul piano del rotore principale

MASS

corrisponde al peso massimo del velivolo (maximum weight)

Medivac

letteralmente "evacuazione medica", termini con cui si intendono tutte le procedure tempistiche di evacuazione di feriti gravi in presenza di catastrofi naturali, mediante l'utilizzo di elicotteri allestiti in modo tale da assicurare il primo soccorso

OEI

One engine inoperating

OIS (Obstacle Identification Surface)

una superficie che può essere forata da oggetti, una volta accertata l'inesistenza di un potenziale rischio

OL Overall length

lunghezza fuori tutto

OLS (Obstacle Limitation Surface)

una superficie che non deve essere forata

Operazione con prestazione di classe 1

un'operazione nella quale, nel caso di avaria al motore critico, l'elicottero è in grado di atterrare all'interno della distanza disponibile per il decollo, o continuare in sicurezza il volo fino a un'area idonea per l'atterraggio, a seconda del momento in cui avviene l'avaria

Operazione con prestazione di classe 2

un'operazione nella quale, nel caso di avaria al motore critico, le prestazioni consentono all'elicottero di proseguire il volo in sicurezza, fatta eccezione quando l'avaria si verifica durante l'inizio delle manovre di decollo, o alla fine di quelle di atterraggio, casi nei quali può rendersi necessario un atterraggio di emergenza

Operazione con prestazione di classe 3

un'operazione nella quale, nel caso di avaria al motore in qualunque fase del volo, può essere richiesto un atterraggio di emergenza per un elicottero plurimotore, o deve essere richiesto per un elicottero monomotore

Operazioni locali con elicottero

operazioni di trasporto aereo commerciale diurne, condotte a contatto visivo con il terreno in un'area geografica definita e specificata nel manuale delle operazioni, con elicotteri aventi una massa massima certificata (MCTOM) superiore a 3.175 Kg e una configurazione massima di passeggeri certificata (MOPSC) di nove o inferiore

PinS approach (Approccio Point-in-Space).

approccio basato sull'uso di sistemi GPS e SBAS e su procedura di avvicinamento designata solamente per gli elicotteri. Prevede l'allineamento con un punto di riferimento, localizzato in modo tale da permettere manovre di volo successive o avvicinamenti ed atterraggi tramite manovre a vista (in determinate condizioni di visibilità) per vedere ed evitare gli ostacoli

PPR (Prior Permission Required) heliport

eliporto ad uso privato

Punto definito dopo il decollo (DPATO)

il punto, entro la fase di decollo e l'inizio della salita, prima del quale la capacità dell'elicottero di continuare il volo in sicurezza, con il motore critico in avaria, non è assicurata, e può essere necessario un atterraggio forzato

Punto definito sulla traiettoria di avvicinamento finale prima dell'atterraggio (DPBL)

un punto tra la fase di avvicinamento finale e quella di atterraggio, dopo il quale, in caso di avaria al motore critico, non è assicurata la capacità dell'elicottero di proseguire il volo in sicurezza e potrebbe essere richiesto un atterraggio forzato

Punto di decisione al decollo (TDP)

il punto utilizzato nel determinare le prestazioni di decollo nel quale, nel caso in cui venga rilevata un'avaria motore a questo punto, il decollo può essere sia interrotto che continuato in sicurezza

Punto di decisione per l'atterraggio (LDP)

il punto utilizzato per determinare le prestazioni d'atterraggio dal quale, se viene identificata un'avaria motore, l'atterraggio può essere continuato in sicurezza o interrotto

Raised light

luce sospesa e posizionata su un palo (sporgente, aggettante)

RD Main rotor diameter

diametro del rotore principale

Restricted field length

procedura puntuale

ROC

Required Obstacle Clearance

RTOA

rejected Take-Off Area

S (Undercarriage contact area)

area di contatto del carrello

Sistema di visione notturna (NVIS)

l'integrazione di tutti gli elementi richiesti per operare con successo e sicurezza con un elicottero dotato di visori notturni. Il sistema include almeno i visori notturni (NVG), il sistema di visione notturna (NVIS) e altri componenti dell'elicottero, addestramento e aeronavigabilità continua

SLB Static Load Bearing

carico statico corrispondente al peso massimo al decollo applicato attraverso tutti i punti di contatto

Taxiway VS Taxi-route

la prima indica la porzione pavimentata della via di rullaggio mentre la seconda indica l'intera larghezza comprensiva della parti inerbite

TD/P marking "Touchdown/Positioning marking"

marking di delimitazione dell'area di contatto/ posizionamento dell'elicottero all'interno dello stand

TDP

Take-off Decision Point

TLOF Touchdown and Lift-Off Area.

l'area, dotata di determinate caratteristiche di portanza, all'interno della quale devono trovarsi il carrello o i pattini dell'elicottero. Per gli eliporti in elevazione questa coincide con la FATO

TR (Tail Rotor Noise)

nonostante la maggiore aliquota del rumore sia generate dal rotore principale, il rumore generato dal rotore di coda rappresenta una fonte di disturbo non indifferente per chi si trova vicino all'elicottero, ove tale rumore, caratterizzato da un elevata frequenza, non è ancora attenuato dall'atmosfera. Il rumore generato dal rotore di coda è più fastidioso all'orecchio umano e ciò è proprio dovuto alla frequenza più elevata (maggiormente apprezzabile dall'orecchio) rispetto a quella del rotore principale

TRI

Tail Rotor Interaction

UC (Maximum undercarriage spread dimension, width or length)

dimensione massima del carrello

VAWG

Visual Aids Working Group

Volo HEMS

un volo effettuato con elicottero con approvazione HEMS, il cui scopo è fornire assistenza medica di emergenza nei casi in cui un trasporto immediato e rapido è essenziale, e che trasporta

- a) personale medico;
- b) forniture mediche (attrezzature, sangue, organi, medicinali);
- c) persone malate o ferite e altre persone direttamente coinvolte.

VSS

Visual Segment Surface

BIBLIOGRAFIA

Abdesaken, G., Cullmann, A., The relative efficiency of German airports: an Application of Partial Factor Methodology and Data Envelopment Analysis, *GAP Project*, 2006.

Adler, N., Berechman, J., Measuring airport quality from the airlines' viewpoint: An application of data envelopment analysis, *Transport Policy* 8, (3) (7): 171-181, 2001.

Agenzia Nazionale per la Sicurezza del Volo, Rapporto informativo sull'attività svolta dall'ANSV e sulla sicurezza dell'aviazione civile in Italia, 2012.

Ambrosetti, The European House, & AgustaWestland, Studio *VertiPass* - Lo sviluppo del trasporto aereo a decollo verticale nel contesto di un sistema di mobilità all'avanguardia per il Paese, 2009.

Amoroso, S., Castelluccio, F., Maritano, L., A Data Envelopment Analysis methodology for the efficiency's evaluation of a group of transport heliports offering scheduled flights, *5th International Conference HELI World 2013*, Novembre 2013.

Amoroso, S., Castelluccio, F., Maritano, L., Future trends for the civil rotorcraft, *5th International Conference HELI World 2013*, Novembre 2013.

Amoroso, S., Castelluccio, F., Maritano, L., Helicopter operations: the environmental impact and ground facilities. Procedures and operational standards for the system's acceptance, *4th International Conference HELI World 2012*, Novembre 2012.

Amoroso, S., Leone, S., Gli elicotteri e il loro impiego nel settore del trasporto civile commerciale, 2011.

ASSAEROPORTI, La competitività del settore aeroportuale in Italia: proposte di modernizzazione, 2013.

Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science* 30 (9), 1078-1092, 1984.

Bazargan, M., Vasigh, B., Size versus efficiency: A case study of US commercial airports, *Journal of Air Transport Management* 9, (3): 187, 2003.

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research* 2, 429-444, 1978.

Coelli, T., Prasada Rao, D.S., Battese, G.E., An introduction to efficiency and productivity analysis, *Kluwer Academic Publishers, Boston*, 1998.

Columbo, V., Rapporti tra impiego dei mezzi di volo verticale e organizzazione urbanistica, 1951.

Columbo, V., Regolamentazione giuridica del volo verticale e legislazione urbanistica in Italia, 1950.

Cook, W.D. and Zhu, J., Data Envelopment Analysis: Modeling Operational Processes and Measuring Productivity. *ISBN: 1434830233. EAN-13: 9781434830234*, 2008.

Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., Data Envelopment Analysis: a Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software - 2nd Edition, *Springer*, 2007.

Correnti, V., Ignaccolo, M., Inturri, G., Regional air transport in Europe: the potential role of the civil tiltrotor in reducing airside congestion, *Journal of Transportation*, 2006.

Correnti, V., Trasporti aerei civili a decollo corto o verticale, Istituto di Trasporti, Università di Palermo, 1970.

Decreto del 1 febbraio 2006, Norme di attuazione della legge 2 aprile 1968, n°518, concernente la liberalizzazione dell'uso delle aree di atterraggio (Gazzetta Ufficiale n°106 del 9-5-2006).

Desai, A and Storbeck, J.E., A data envelopment analysis for spatial efficiency, *Computers, Environment and Urban Systems*, 14, 145-156, 1990.

Ente Nazionale per l'Aviazione Civile, Attività di volo su elisuperfici e basi secondarie, 2003.

Ente Nazionale per l'Aviazione Civile, Aviosuperfici ed Elisuperfici: il nuovo contesto normativo, 2004.

Ente Nazionale per l'Aviazione Civile, Circolare APT-36, Avio-Idro-Elisuperfici: gestione ed autorizzazione, 2013.

Ente Nazionale per l'Aviazione Civile, Dati di Traffico 2011.

Ente Nazionale per l'Aviazione Civile, Dati di Traffico 2012.

Ente Nazionale per l'Aviazione Civile, Piano Nazionale degli Aeroporti, 2011.

Ente Nazionale per l'Aviazione Civile, Regolamento per la costruzione e l'esercizio degli eliporti, Prima Edizione, Ottobre 2011.

Farrell, M.J., The measurement of productive efficiency, *Journal of Royal Statistical Society A* 120, 253-281, 1957.

Fernandes, E., Pacheco, R. R., Efficient use of airport capacity, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 36, (3): 225, 2002.

Gillen, D.W., Lall, A., Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis, *Transportation Research Part E* 33 (4), 261-274, 1997.

Hantziagelis, S., Benchmarking the impact of terminal development on airport performance. Thesis (M.A.Sc.), University of Toronto, 2004.

Helicopter Association International, ENG Safety Manual, Febbraio 1999.

Holvad, T., Graham, A., Efficiency measurement for UK airports : An application of data envelopment analysis. *TSU ref ; 956. Oxford: University of Oxford. Transport Studies Unit*, 2003.

Horonjeff, R., McKelvey, F., Sproule, W., Planning and design of heliports, *Fifth Edition, McGraw-Hill*, 2001.

Information Handling Services, Jane's Helicopter Markets and Systems, Olivier, February 2007.

International Center for Competitiveness Studies in the Aviation Industry (ICCSAI), Fact Book 2012 – La competitività del trasporto aereo in Europa, 2012.

International Civil Aviation Organization, Annex 14, vol. II - Heliports, Third Edition, 2009.

International Civil Aviation Organization, Annex 16, Environmental Protection, Vol. I, Aircraft Noise, Fifth Edition, July 2008.

International Civil Aviation Organization, Annex 6, Operation of Aircraft, Part III, International Operations – Helicopters, Seventh Edition, July 2010.

International Civil Aviation Organization, Doc. 9261-AN/903 – “Heliport Manual”, Third Edition, 1995.

Joint Aviation Authorities, Joint Aviation Requirements (JAR)-OPS 3: Commercial Air Transportation (Helicopters), Amendment 5, 2007.

Koçak, H., Efficiency examination of Turkish airports with DEA approach, *International Business Research Vol. 4 No. 2*, 204-212, 2011.

Leverton, J., Pike, A., Helicopter Noise - What Is Important from a Community Perspective?, *American Helicopter Society 63rd Annual Forum, Virginia Beach, VA*, May 1-3, 2007.

Linares Bejarano, C. A., Environmental Impact Assessment of the operation of conventional helicopters at mission level, MSc Research Thesis, Cranfield University, 2011.

Martín, J.C., Romàn, C., An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization, *Journal of Air Transport Management* 7, 149-157, 2001.

Ministero dell’Interno, Decreto del 26 Ottobre 2007, n. 238, Regolamento recante norme per la sicurezza antincendio negli eliporti ed elisuperfici (Gazzetta Ufficiale - Serie generale n. 294 del 19-12-2007).

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Atto di indirizzo per la definizione del Piano Nazionale per lo Sviluppo Aeroportuale, 2013.

Pera, L., Criteri per l’impianto e la costruzione degli eliporti / Luigi Pera ; a cura dell’Istituto di architettura e urbanistica - Pisa - \1958.

Pike, A., Leverton, J., “Public Acceptance of Rotorcraft: The Issues”, *Proceedings Potential of Rotorcraft to Increase Capacity, Royal Aeronautical Society, London, UK*, 19 October 1999.

Ripubblicazione del testo del decreto-legge del 4 ottobre 1996, n. 517 (in Gazzetta Ufficiale - serie generale - n. 234 del 5 ottobre 1996), coordinato con la legge di conversione 4 dicembre 1996, n. 611 (in Gazzetta Ufficiale - serie generale - n. 285 del 5 dicembre 1996), recante: “Interventi nel settore dei trasporti”, Disposizioni in materia di elisuperfici.

Sarkis, J., Talluri, S., Performance based clustering for benchmarking of US airports, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 38, (5): 329, 2004.

Schomer, P. D., and Neathammer, R. D. "The Role of Helicopter Noise-Induced Vibration and Rattle in Human Response" *J. Acoust. Soc. Am.* 81(4), 966-976, 1987.

Seiford, L.M. and Zhu, J., Stability regions for maintaining efficiency in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 108, No. 1, 127-139, 1998.

Tapiador, F.J., Mateos, A., Marti-Henneberg, J., The geographical efficiency of Spain's regional airports. a quantitative analysis, *Journal of Air Transport Management*, 14 205-212, 2008.

Terzi, P., Necessita d'includere gli eliporti nei piani regolatori cittadini / Paolo Terzi – Milano, 1954.

US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 121, Operating Requirements: Domestic, Flag, and Supplemental Operations.

US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 135, Operating Requirements: Commuter and on demand operations and rules governing persons on board such aircraft.

US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 139, Certification and Operations: Land Airports Serving Certain Air Carriers.

US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 151, Federal Aid to Airports.

US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 152, Airport Aid Program.

US Code of Federal Regulations, Title 14, part 157, Notice of Construction, Alteration, Activation, and Deactivation of Airports.

US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 27, Airworthiness Standards: Normal Category Rotorcraft.

US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 29, Airworthiness Standards: Transport Category Rotorcraft.

US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 77, Safe, Efficient Use, and Preservation of the Navigable Airspace.

US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 91, General Operating and Flight Rules.

Bibliografia

US Federal Aviation Administration, Advisory Circular No. 150/5230-4B, Aircraft Fuel Storage, Handling, Training, and Dispensing on Airports, September 2012.

US Federal Aviation Administration, Advisory Circular No. 150/5320-6E, Airport Pavement Design and Evaluation, September 2009.

US Federal Aviation Administration, Advisory Circular No. 150/5340-30G, Design and Installation Details for Airport Visual Aids, September 2012.

US Federal Aviation Administration, Advisory Circular No. 150/5345-12F, Specification for Airport and Heliport Beacons, November 2005.

US Federal Aviation Administration, Advisory Circular No. 150/5390-2B, Heliport Design, September 2004.

US Federal Aviation Administration, Advisory Circular No. 150/5390-2C, Heliport Design, April 2012.

US Federal Aviation Administration, Advisory Circular No. 36-1H, Noise Levels for U.S. Certificated and Foreign Aircraft, May 2012.

US Federal Aviation Administration, Advisory Circular No. 70/7460-1K, Obstruction Marking and Lighting, February 2007.

US Federal Aviation Administration, Order 1050.1E, CHG 1, Environmental Impacts: Policies and Procedures, March 2006.

US Federal Aviation Administration, Order 1050.1E, CHG 1, Environmental Impacts: Policies and Procedures, March 2006.

US Federal Aviation Administration, Order 5050.4B, National Environmental Policy Act (NEPA) Implementing Instructions for Airport Projects, May 2006.

US Federal Aviation Administration, Order JO 7400.2J, CHG 1, Procedures for Handling Airspace Matters, February 2012.

US Federal Aviation Administration, Technical Report FAA/RD-84/25, Evaluating Wind Flow Around Buildings on Heliport Placement, October 1984.

US National Fire Protection Agency, Pamphlet 418, Standards for heliports, 2011.

Zhu, J., *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets*, Springer, 2009.

Zhu, J., Setting scale efficient targets in DEA via returns to scale estimation method, *Journal of Operational Research Society*, 51, No. 3, 376-378, 2000.

Zhu, J., Super-efficiency and DEA sensitivity analysis, *European Journal of Operational Research*, 129, No. 2, 443-455, 2001.