

INDICE

INDICE DELLE TABELLE	5
INDICE DELLE FIGURE.....	7
INTRODUZIONE.....	10
CAPITOLO PRIMO.....	12
MOBILITÀ NEL TERRITORIO NAZIONALE E NELLA REGIONE SICILIA	12
1.1 Introduzione.....	12
1.2 Considerazioni generali sul trasporto in Italia.....	12
1.3 Il trasporto su strada.....	14
1.4 Il trasporto ferroviario	16
1.5 Trasporto marittimo – Navigazione interna	19
1.6 Trasporto marittimo – Navigazione marittima	20
1.7 Trasporto aereo	22
1.8 Il sistema dei trasporti in Sicilia	24
1.9 Le infrastrutture stradali	26
1.10 Le infrastrutture ferroviarie	30
1.11 Le infrastrutture portuali	32
1.12 Infrastrutture aeroportuali	35
CAPITOLO SECONDO.....	37

ATTRATTIVITÀ DELLA SICILIA E ANALISI DELLA DOMANDA	
DEL SERVIZIO	37
2.1 Introduzione	37
2.2 La capacità di attrarre turismo	37
2.3 I flussi turistici	40
2.4 Dati ricavati dal Secondo Report Agusta redatto dal D.I.TRA. 42	
CAPITOLO TERZO.....	45
MOTIVAZIONI DELL'USO DI MEZZI VTOL ED INDIVIDUAZIONE	
DELL'APPARECCHIO	45
3.1 Introduzione	45
3.2 Una possibile soluzione ai problemi aeroportuali: i mezzi VTOL	
45	
3.3 Scelta dell'area da destinare a eliporto o helistop.....	48
3.4 Il servizio di trasporto elicotteristico in Sicilia	50
3.5 Esempi di servizi elicotteristici in Italia e nel mondo	51
3.5 Scelta del mezzo	54
CAPITOLO 4	58
ANALISI DEI COSTI DI UN SERVIZIO	
ELICOTTERISTICO.....	58
4.1 Introduzione	58
4.2 Costi operativi e costi non operativi.....	58
4.2.1 Costi operativi.....	59
4.2.2 Costi non operativi	60
4.3 Costi diretti e costi indiretti	61
4.3.1 Costi diretti	61
4.3.2 Costi indiretti	62
4.3 Costi fissi e variabili.....	62
4.3.1 Costi fissi	62
4.3.2 Costi variabili.....	65

4.4	Costi del personale	69
CAPITOLO 5		71
ANALISI DELLE PERFORMANCE DELL'ELICOTTERO		71
5.1	Introduzione	71
5.2	Hovering	72
5.3	Traslazione Verticale	95
5.4	Autorotazione	103
5.5	Volo Traslato	111
CAPITOLO 6		127
CONTESTO NORMATIVO DI RIFERIMENTO		127
6.1	Introduzione	127
6.2	Regolamenti ICAO	128
6.2.1	Il lavoro dell'Heliport Design Working Group	129
6.3	Inquinamento acustico	130
6.4	Inquinamento atmosferico	132
6.5	Regolamenti internazionali	135
6.5.1	Deroghe concesse dalla JAA alla Svizzera	136
6.6	La normativa italiana	137
6.6.1	Requisiti di un eliporto	138
6.6.2	Caratteristiche fisiche di un eliporto	140
6.7	Regolamenti operativi italiani	148
6.8	Normativa francese	153
6.9	Normativa canadese	158
6.9.1	Classificazione degli eliporti canadesi	161
6.10	Ulteriori considerazioni	163
6.11	Mitigazione degli effetti sulla comunità: il caso di Issy-Les-Moulineaux	167
6.11.1	Mitigazione e riduzione dell'impatto ambientale dell'attività dell'elicottero sui territori circostanti l'eliporto	168

6.11.2	Mitigazione dell'impatto ambientale di ciascuna macchina	168
6.11.3	Mitigazione dell'impatto ambientale delle rotte (quota e traiettoria).....	169
6.11.4	Mitigazione dell'impatto ambientale per la conoscenza, la trasparenza e l'informazione pubblica.....	170
6.11.5	Mitigazione dell'impatto ambientale nell'aumento della sicurezza dei voli	171
6.11.6	Messa in opera, validità e durata del documento	171
6.11.7	Ottimizzazione delle rotte: il caso di Issy-Les-Moulineaux	171
6.12	Francia: Guida alle procedure per la riduzione del rumore.....	176
6.13	Normativa Australiana	178
6.13.1	Basic Helicopter Landing Site	180
6.13.2	Standard Helicopter Landing Site	180
6.13.3	Standard Helicopter Landing Site posizionati sugli edifici.	182
6.13.4	Operazioni notturne.....	183
CAPITOLO 7		185
MODELLO DI OTTIMIZZAZIONE IN REGIME DI MONOPOLIO..		185
7.1	Introduzione.....	185
7.2	Modelli di scelta modale	185
7.3	Modello <i>logit</i> di scelta modale.....	187
7.4	Modello di ottimizzazione delle frequenze di volo in regime di monopolio.	189
7.5	Modello di scelta modale con ottimizzazione delle frequenze di volo.	193
7.6	Modello bi-livello in regime monopolistico.....	195
CONCLUSIONI.....		200

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1: Estensione stradale italiana 1990-2007 - ISTAT	14
Tabella 1.2: Traffico passeggeri 2000 – 2007 - ISTAT	17
Tabella 1.3: Rete ferroviaria elettrificata per regione – ISTAT.....	18
Tabella 1.4: Trasporto pubblico di linea passeggeri (in migliaia) – ISTAT	20
Tabella 1.5: Trasporto interno – ISTAT.....	20
Tabella 1.6: Cabotaggio – ISTAT	21
Tabella 1.7: Traffico passeggeri – ISTAT.....	22
Tabella 1.8: Traffico passeggeri , merci, mezzi 1990/2007 – ISTAT.....	23
Tabella 1.9: Indicatori di dotazione infrastrutturale.....	25
Tabella 1.10: Ricettività e posti barca per provincia siciliana.....	33
Tabella 2.1: Patrimonio culturale in Sicilia	38
Tabella 4.1: Prezzo base di elicotteri medium e heavy multiturbina	64
Tabella 4.2: Consumo orario dei principali elicotteri medium-twin.....	66
Tabella 4.3: Costi operativi variabili orari per alcuni modelli di elicotteri medium/twin	69
Tabella 6.4: Condizioni di visibilità per elicotteri	149
Tabella 6.5: Minime di visibilità per volo notturno	151
Tabella 6.6: Dotazione di bordo per elicotteri	152

Tabella 6.7: Dimensioni e pendenze dei percorsi di atterraggio e decollo in funzione della classe di performance dell'elicottero	154
Tabella 6.8: Dimensioni e pendenza della superficie di protezione dagli ostacoli associata all'indicatore di traiettoria d'approccio per l'elicottero	155
Tabella 6.9: Dimensioni dell'ostacolo – FATO non strumentale	162
Tabella 7.1:.....	193
Tabella 7.2.....	193

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1: Evoluzione della domanda di trasporto e del prodotto interno lordo - ISTAT.....	13
Figura 1.2: Rete stradale per regione (km autostrade per 1.000 km ² superficie) – ISTAT.....	15
Figura 3: Rete ferroviaria italiana – ISTAT	18
Figura 1.4: Rete viaria siciliana suddivisa per categoria.....	27
Figura 1.5: Flussi sulla rete stradale,.....	28
Figura 1.6 Accessibilità “attiva”	29
Figura 1.7: Accessibilità “passiva”	29
Figura 8: Rete ferroviaria siciliana suddivisa per categoria	32
Figura 1.9 Porti ed approdi della regione Sicilia	34
Figura 2.1: Distribuzione dei beni culturali in Sicilia	38
Figura 2.2 Notorietà delle principali località della Sicilia.....	39
Figura 2.3: Presenze turistiche in percentuale, nelle varie province della Sicilia	39
Figura 2.4: Posizionamento della Sicilia in base agli arrivi turistici per Km ²	40
Figura 2.5: Posizionamento della Sicilia per numero di presenze nel contesto nazionale	41
Figura 5.1	69

Figura 5.2	77
Figura 5.3	79
Figura 5.4	82
Figura 5.5	84
Figura 5.6	85
Figura 5.7	86
Figura 5.8	90
Figura 5.9	91
Figura 5.10	92
Figura 5.11	93
Figura 5.12	94
Figura 5.13	94
Figura 5.14	95
Figura 5.15	97
Figura 5.16	97
Figura 5.17	100
Figura 5.18	102
Figura 5.19	102
Figura 5.20	105
Figura 5.21	108
Figura 5.22	110
Figura 5.23	111
Figura 5.24	112
Figura 5.25	117
Figura 5.26	118
Figura 5.27	119
Figura 5.28	120
Figura 5.29	121
Figura 5.30	122

Figura 5.31	123
Figura 5.32	126
Figura 5.33	126
Figura 6.1: Area di sicurezza per operazioni strumentali	142
Figura 6.3: Disposizione della FATO e delle aree di sicurezza.....	147
Figura 6.4: Rappresentazione delle traiettorie di decollo ed atterraggio per elicotteri appartenenti alla Classe 1	155
Figura 6.5: Rappresentazione delle traiettorie di decollo ed atterraggio per elicotteri appartenenti alla Classe 2	156
Figura 6.6: Rappresentazione delle traiettorie di decollo ed atterraggio per elicotteri appartenenti alla Classe 3	156
Figura 6.7: Rappresentazione delle traiettorie curve di decollo ed atterraggio	157
Figura 6.8: Rappresentazione della superficie laterale.....	157
Figura 6.9: Rappresentazione della superficie di protezione dagli ostacoli associata all'indicatore di traiettoria d'approccio per l'elicottero...	158
Figura 6.10: Superficie d'approccio e di decollo curva di una FATO a vista.....	159
Figura 6.23: Traiettoria di approccio dell'elicottero in atterraggio.....	176
Figura 6.24: Sentiero di avvicinamento e decollo.....	182
Figura 6.25: Posizionamento luci per operazioni notturne.....	184

INTRODUZIONE

La realtà delle città italiane e, in particolare, di quelle meridionali è, purtroppo una realtà caotica con la presenza quotidiana e costante di ingorghi e rallentamenti anche sulle arterie a maggiore scorrimento, fatto che preclude alcuni spostamenti e fa enormemente dilatare i tempi per compierne altri.

Per ovviare a queste problematiche è stata realizzata questa ricerca che ha come scopo l'individuazione delle possibilità realizzative di un servizio di linea a mezzo di veicoli V/STOL. L'uso in particolare dell'elicottero darebbe un grosso vantaggio non solo in termini di spostamenti "residenti" ma incentiverebbe anche l'aumento degli spostamenti di una delle principali risorse della Sicilia: i turisti.

L'elicottero è un mezzo veloce e sicuro che proprio per la sua peculiarità riesce a raggiungere luoghi inaccessibili per la maggior parte degli altri sistemi di trasporto e ciò lo ha reso uno strumento fondamentale nel risolvere situazioni di emergenza. Grazie al progresso della tecnologia, l'elicottero ha beneficiato di importanti caratteristiche quali un rotore più silenzioso, la capacità di effettuare voli notturni e l'insonorizzazione della cabina, tutte proprietà che lo rendono idoneo per il trasporto passeggeri, come già avviene in alcuni paesi.

Scelto il mezzo, verrà effettuata un'accurata analisi dei costi, fissi e variabili, dello stesso. Tale analisi sarà di fondamentale importanza nella determinazione successiva delle tariffe di viaggio che dovranno infatti, quantomeno, coprire i costi del servizio.

Prima di entrare nel vivo della ricerca, verrà svolta un'analisi dello stato di fatto della rete dei trasporti in Italia, in generale, e in Sicilia, in particolare, avendo cura di evidenziare, per ciascuna modalità di trasporto trattata, le peculiarità e le criticità che la contraddistinguono.

Nel lavoro seguente vengono, tra le altre, citate le caratteristiche dei servizi elicotteristici di linea al momento presenti in alcuni paesi del mondo, ma viene anche svolta una analisi della normativa internazionale che regola il campo elicotteristico.

Determinate i punti fermi della normativa, si passa poi alla scelta del mezzo più idoneo ad effettuare il servizio in Sicilia e, solo successivamente, a mezzo della definizione e calibrazione di un modello di ottimizzazione bilivello applicato in regime di monopolio, si determineranno quelle che sono le condizioni ottimali per la riuscita di un servizio del genere in una realtà “difficile” e sfaccettata come quella siciliana.

Il lavoro si concluderà quindi con la determinazione della tariffa di viaggio da applicare perché la compagnia elicotteristica possa trarre un vantaggio dalla realizzazione di questo servizio che, per la nostra realtà, è qualcosa di innovativo e mai realizzato prima.

CAPITOLO PRIMO

MOBILITÀ NEL TERRITORIO NAZIONALE E NELLA REGIONE SICILIA

1.1 Introduzione

La realtà delle nostre città è caratterizzata da un'estrema caoticità e difficoltà negli spostamenti. Questa problematica riguarda sia il territorio nazionale che, in particolare, il nostro contesto regionale.

In questo primo capitolo del lavoro di ricerca si intende effettuare un'istantanea della situazione della mobilità sia in ambito nazionale che in ambito regionale siciliano. Per perseguire questo scopo sono state analizzate le varie modalità di trasporto (su strada, su ferro, su navi e aereo) evidenziandone, di volta in volta, le principali caratteristiche e criticità.

1.2 Considerazioni generali sul trasporto in Italia

L'aumento della domanda, negli ultimi anni, ha caratterizzato il notevole sviluppo dei sistemi di trasporto, le cause che hanno portato ad un incremento di domanda hanno un legame diretto con le dinamiche sociali ed economiche, come:

- l'integrazione economica europea che permettendo, il libero spostamento delle persone e delle merci sul proprio territorio, ha favorito in maniera significativa gli spostamenti delle persone tra gli stati membri;

- l'aumento del numero di persone che viaggiano per lavoro o per motivi di studio, e la generalizzata dispersione sul territorio degli insediamenti residenziali, che favorisce il fenomeno del pendolarismo e che riguarda sia gli spostamenti sistematici, sia quelli occasionali, prodotti dall'esigenza di soddisfare bisogni di carattere sociale e culturale legati all'uso del tempo libero o anche quelle di espletare azioni di natura amministrativa;
- l'abbattimento dei costi della mobilità, generato dal progresso tecnologico, e l'aumento generalizzato del reddito pro-capite hanno contribuito ad accrescere il livello della mobilità fra le diverse aree geografiche.

A fronte dell'incremento di domanda, il trasporto di passeggeri è stato segnato da un incremento totale del 2,0% questo però non significa che tutte le modalità di trasporto hanno beneficiato di tali dinamiche, infatti ad esempio il trasporto aereo è aumentato del 16,9% mentre quello ferroviario è diminuito dello 0,6%)

In Figura 1.1 è mostrato come la crescita della domanda sia strettamente legata all'andamento positivo avuto dal P.I.L.

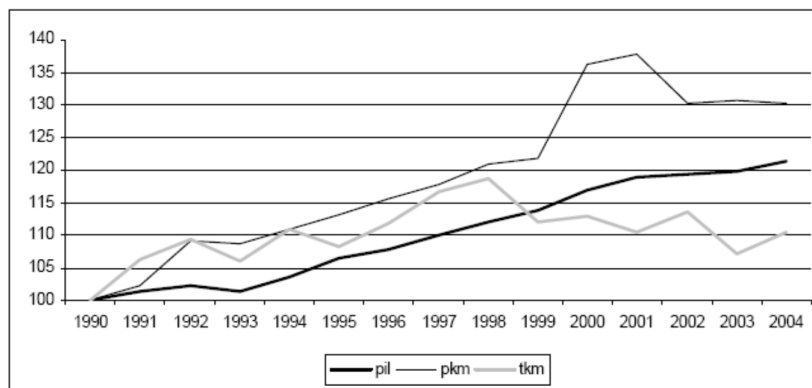


Figura 1.1: Evoluzione della domanda di trasporto e del prodotto interno lordo - ISTAT

Il sistema di trasporto interagisce con il sistema delle attività e influenza fortemente sia l'economia di un paese che gli equilibri economici interni ed esterni. Inoltre deve essere sempre garantita alle componenti del sistema delle attività di interagire e competere tra loro.

Il numero e la tipologia dei sistemi di trasporto dipendono quindi da questi fattori.

1.3 Il trasporto su strada

La rete viaria svolge un ruolo centrale nel sistema di trasporto italiano.

La maggioranza del trasporto passeggeri e di quello delle merci utilizza il sistema stradale, che rappresenta un elemento di connessione insostituibile fra il territorio ed i nodi di trasporto multimodale (porti, aeroporti, stazioni, centri merci).

Nonostante questa sua centralità, il sistema stradale presenta squilibri notevoli in termini di qualità, sicurezza, livelli di dotazione e di congestione. Al 31 dicembre 2007 la consistenza della rete stradale italiana primaria (esclusa cioè quella comunale) ha raggiunto i 182.136 km così ripartiti:

- 6.588 km di autostrade;
- 19.290 km di altre strade di interesse nazionale;
- 156.258 km di strade regionali e provinciali.

Tabella 1.1: Estensione stradale italiana 1990-2007 - ISTAT

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Autostrade	6.478	6.487	6.487	6.487	6.532	6.542	6.554	6.588
Altre strade di interesse nazionale	46.556	46.870	20.634	17.250	17.250	21.524	21.524	19.290
Regionali e Provinciali	114.691	115.180	143.468	149.106	151.570	147.364	147.364	156.258
Totale	167.725	168.537	170.589	172.843	175.352	175.430	175.442	182.136

Dati espressi in chilometri

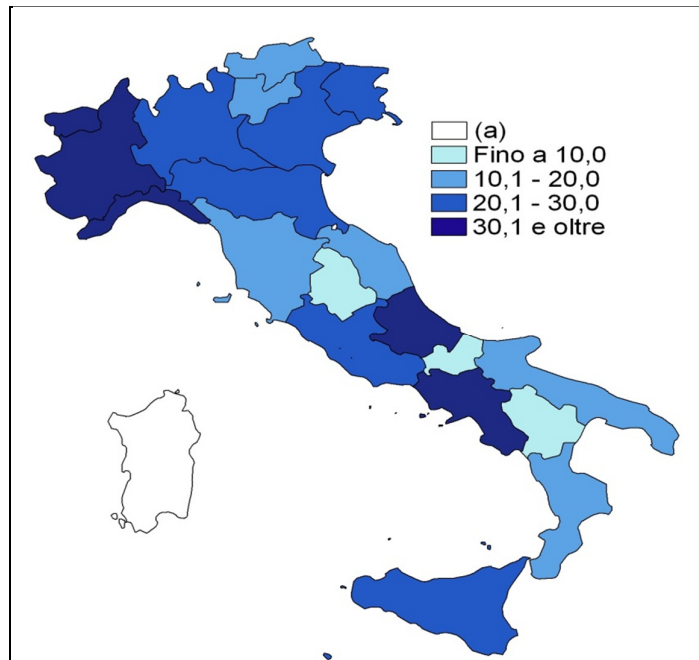


Figura 1.2: Rete stradale per regione (km autostrade per 1.000 km² superficie) – ISTAT

Dall'analisi del grafico sopra riportato, si evince come nell'Italia Settentrionale si abbia una elevata densità di strutture viarie, sia in rapporto alla superficie, ma anche al numero di veicoli e al numero dei residenti.

Invece nel Meridione è presente una rete autostradale nettamente inferiore con una conseguente minore densità di strutture viarie, sempre in rapporto al numero di veicoli, che al numero dei residenti che alla superficie.

In rapporto alle autovetture circolanti, l'Italia Meridionale, prevale per quanto riguarda le strade provinciali e regionali e le altre strade di interesse nazionale, il che evidenzia, sicuramente, una minore congestione della circolazione.

Riguardo alla congestione della circolazione si evidenziano dati elevati soprattutto in Regioni quali la Lombardia, il Lazio, la Campania, il Friuli Venezia Giulia ed il Veneto che risultano avere la maggiore concentrazione di autovetture per km stradale.

Questo sicuramente riveste un punto di criticità; infatti se si vuole pensare al futuro della mobilità nel nostro paese, non si può non tenere conto del fatto che il sistema più utilizzato rischia la congestione, soprattutto per il fatto che le infra-

strutture, non in tutto il paese, sono in grado di sostenere la continua crescita della domanda.

La domanda di servizio di trasporto collettivo è sempre più condizionata dalla massiccia concorrenza esercitata dall'uso del mezzo di trasporto privato non solo nei centri urbani, ma anche al di fuori degli stessi per gli spostamenti di media e lunga distanza all'interno delle Regioni.

Un dato da non sottovalutare nell'analisi di questo sistema di trasporto, è che tra tutti i sistemi di trasporto, quello su strada è di gran lunga il più pericoloso e comporta il prezzo più alto in termini di vite umane. Per questo motivo il programma d'azione europeo per la sicurezza stradale 2003-2010 prevede una serie di misure quali il rafforzamento dei controlli stradali, l'ampio ricorso a nuove tecnologie per la sicurezza, il miglioramento delle infrastrutture stradali e azioni tese a migliorare il comportamento degli utenti. L'obiettivo finale è quello di ridurre almeno del 50 per cento il tasso dei decessi entro il 2010. In definitiva il trasporto viario che fino ad ora ha rivestito un ruolo da protagonista, nell'intera struttura della mobilità del nostro paese, rischia di non essere in grado di riuscire a rispondere alla crescente domanda, sia per una congestione sempre più evidente, sia per la sua gravosità economica che comporta, sia in ambito privato che pubblico, sia per un livello di sicurezza scarso, che spinge le persone a scegliere un altro sistema di trasporto.

1.4 Il trasporto ferroviario

I dati relativi ai volumi di traffico mostrano, negli ultimi anni, una leggera diminuzione nel numero di passeggeri del sistema ferroviario (-2,5% circa).

La domanda complessiva di trasporto, nel nostro paese, viene soddisfatta per intero da un'unica azienda, Gruppo Ferrovie dello Stato (92,5% circa). A livello nazionale questa domanda si attesta in valore assoluto sui 71,1 miliardi di unità di traffico, così composti:

- 45,2 miliardi di viaggiatori-km trasportati per ferrovia dalla società Trenitalia, sia di media/lunga percorrenza che regionale;

- 0,8 miliardi di viaggiatori-km trasportati da joint venture paritetica tra Trenitalia e le Ferrovie Svizzere SBB, sul territorio nazionale;

Tali volumi hanno generato un livello di ricavi da traffico pari a 4.304 milioni di euro. Piccole e medie imprese che si occupano di trasporto ferroviario nel loro complesso hanno trasportato oltre 229 milioni di passeggeri. Tutto ciò è riassunto nella tabella sottostante.

Tabella 1.2: Traffico passeggeri 2000 – 2007 - ISTAT

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Viaggiatori – km (milioni)	47.133	46.752	45.956	45.222	45.577	46.527	47.145	45.985
Viaggiatori trasportati (migliaia)	478.200	482.800	491.922	498.056	504.402	516.768	540.298	551.871
Percorrenza media di un viaggiatore (km)	99	97	93	91	90	90	87	83
Ricavi traffico viaggiatori (M€)	1.983	2.111	2.153	2.149	2.186	2.224	2.284	2.399
Ricavo medio a viaggiatore – km (cent/€)	4,2	4,5	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	5,2

Analogamente a quanto visto per la situazione stradale, anche la distruzione della rete ferroviaria sul territorio, come mostrato in figura 1.3, il nord del paese ha una densità di linee maggiore, se rapportato alla superficie, in cui si sviluppano queste.

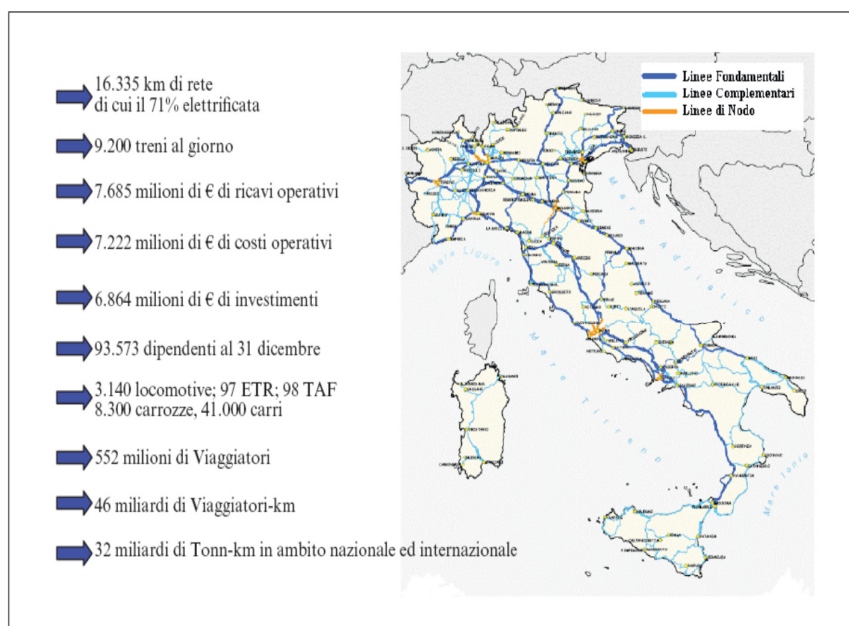


Figura 3: Rete ferroviaria italiana – ISTAT

Tabella 1.3: Rete ferroviaria elettrificata per regione – ISTAT

Regioni	Linee elettrificate		Linee non elettrificate		Totale
	Binario doppio	Binario semplice	Binario doppio	Binario semplice	
Piemonte	642	533		602	1.777
Valle D'Aosta	0	0		81	81
Lombardia	637	653		290	1.580
Trentino Alto Adige	199	96		67	362
Veneto	551	202		403	1.156
Friuli - Venezia Giulia	298	78		89	465
Liguria	318	161		16	495
Emilia Romagna	474	482		88	1.044
Toscana	707	225	18	490	1.440
Umbria	180	172		15	367
Marche	191	49		146	386
Lazio	715	265		111	1.091
Abruzzo	96	249		193	538

Regioni	Linee elettrificate		Linee non elettrificate		Totale
	Binario doppio	Binario semplice	Binario doppio	Binario semplice	
Molise	23	55		204	282
Campania	512	238		242	992
Puglia	347	249		225	821
Basilicata	24	179		145	348
Calabria	249	205	10	386	850
Sardegna	0	0	16	411	427
Sicilia	150	634		578	1.362
Linee all'estero F.S.	4	3		44	51
Italia	6.317	4.728	44	4.826	15.915

Questi dati forniscono un'ampia visione di quello che è lo stato dell'arte del trasporto ferroviario in Italia.

La rete non equamente distribuita, sia in densità (Figura 1.3) che in qualità (Tabella 1.3) fa sì che rimangano ad oggi zone dove la rete ferroviaria è insistente o dove la rete è in stato di evidente arretratezza; questo porta a tempi di percorrenza lunghi, disagi dovuti principalmente a ritardi, e la conseguente scelta da parte dell'utente di dirottare su altre modalità di trasporto.

1.5 Trasporto marittimo – Navigazione interna

I servizi di trasporto per vie d'acqua interne sono prevalentemente concentrati nell'Italia Settentrionale. Tale modo di trasporto non costituisce, infatti, un'alternativa ai vettori tradizionali su strada e ferrovia, sia per ragioni connesse alla conformazione geografica e morfologica del territorio italiano sia a causa di carenze infrastrutturali che ancora limitano lo sviluppo della navigazione interna in molte aree del Paese; sono ancora molti, infatti, i porti fluviali non completamente attrezzati e scarsamente collegati con reti viarie, ferroviarie e strutture logistiche. Nel tentativo di ovviare alla summenzionata carenza infrastrutturale sono state intraprese iniziative che hanno lo scopo di eliminare queste carenze, al fine di garantire un'adeguata copertura infrastrutturale.

Tabella 1.4: Trasporto pubblico di linea passeggeri (in migliaia) – ISTAT

	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Passeggeri	107.775	99.413	107.077	108.378	111.670	114.842	113.215
Passeggeri - km	449.865	446.938	480.144	478.843	488.420	496.490	492.855

1.6 Trasporto marittimo – Navigazione marittima

Questo tipo di sistema di trasporto, è sicuramente più distribuito all'interno del nostro paese, e conta un numero di passeggeri transitati complessivamente nei porti italiani tra trasporto interno e trasporto di cabotaggio (trasporto marittimo tra porti vicini per cui bastano per la navigazione piccole o medie imbarcazioni), pari a 83,3 milioni di passeggeri. La maggior parte di essi si sono spostati fra i porti nazionali, mentre solo una piccola parte sono arrivati da o sono partiti verso porti esteri. Il traffico passeggeri nel complesso ha registrato un incremento dello 0,9 %, dovuto essenzialmente alla crescita di quello su rotte internazionali (+9,4 per cento), mentre il traffico interno è aumentato solo dello 0,3 %.

In Tabella 1.5 ed in Tabella 1.6 si riportano i dati relativi alle due componenti principali di questo sistema di trasporto, quello interno e quello di cabotaggio.

Tabella 1.5: Trasporto interno – ISTAT

	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Numero navi arrivate (in migliaia)	562.460	547.335	557.283	566.810	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tonnellate stazza netta per le navi arrivate (migliaia)	772.014	840.470	886.869	918.286	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Merci arrivate (migliaia di tonnellate)	315.155	322.824	334.819	338.374	348.235	358.109	358.620	342.482
Merci partite (migliaia di tonnellate)	131.484	135.134	142.209	146.610	160.711	162.076	172.689	166.300
Passeggeri arrivati (migliaia)	43.215	41.394	41.287	41.716	39.476	39.476	43.473	43.038
Passeggeri partiti (migliaia)	43.161	41.306	41.289	41.600	39.277	39.277	43.469	43.061

Tabella 1.6: Cabotaggio – ISTAT

	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Passeggeri arrivati (in migliaia)	39.979	38.521	38.453	38.529	36.394	40.214	40.703	40.296
Passeggeri partiti (in migliaia)	39.922	38.446	38.427	38.559	36.380	40.226	40.753	40.345
Passeggeri - km per passeggeri arrivati (in milioni)	3.497	3.387	3.388	3.390	3.237	3.577	3.566	3.525

Il quadro dei collegamenti marittimi di cabotaggio con le Isole Maggiori (Sardegna e Sicilia) e con le Isole Minori è alquanto complesso. Accanto alle società di navigazione del gruppo Tirrenia, a capitale prevalentemente pubblico (che esercitano servizi di collegamento con le Isole Maggiori e Minori, nonché taluni prolungamenti considerati, dal legislatore, necessari ad assicurare il soddisfacimento di esigenze connesse allo sviluppo economico e sociale delle aree interessate), sono proliferate numerose società di navigazione private.

Le società pubbliche sovvenzionate svolgono un servizio atto ad assicurare, in ogni momento dell'anno, i collegamenti necessari al trasporto di persone e merci con regolarità, prescindendo da condizioni di mercato e redditività.

Le società private, operando in assoluta libertà d'impresa, possono decidere l'area di intervento più redditizia ed il periodo dell'anno in cui operare. Esse rispondono esclusivamente a criteri di economicità e di lucro e per questo si presentano più dinamiche e più rispondenti alle esigenze del mercato, in grado di adeguarsi rapidamente alle richieste degli utenti.

Per quanto riguarda i collegamenti con importanti Isole Minori, le società pubbliche che gestiscono le linee sono le società regionali marittime, ognuna operante nella zona di propria competenza. Dai dati fin qui analizzati, è facile intuire, come il trasporto marittimo in generale, sia una modalità importante per la mobilità del nostro paese, ma ancora poco sfruttata; infatti è carente in mezzi competitivi, in velocità e confort. Solo il settore privato riesce a garantire un servizio dinamico e di qualità adatta al tipo di servizio richiesto dagli utenti.

Questa potrebbe essere una linea di sviluppo molto interessante, visto che il nostro paese è circondato dal mare, e che viene ancora oggi poco utilizzato.

1.7 Trasporto aereo

Il sistema di trasporto aereo è sicuramente la modalità che garantisce una velocità di spostamento ed un livello di sicurezza abbastanza elevato.

I dati relativi al trasporto passeggeri secondo tale modalità possono essere dedotti dalla Tabella 1.7.

Tabella 1.7: Traffico passeggeri – ISTAT

Tipo di servizio	Traffico Totale		Traffico Internazionale		Traffico Nazionale	
	Movimenti Aeromobili	Passeggeri	Movimenti Aeromobili	Passeggeri	Movimenti Aeromobili	Passeggeri
Di linea	1.391.264	125.956.619	738.081	70.023.184	653.183	55.933.435
Charter	98.547	9.262.595	83.586	8.716.537	14.961	546.058
Aerotaxi	43.679	96.460	18.375	46.926	25.304	49.534
Totale	1.533.490	135.315.674	840.042	78.786.647	693.448	56.529.027

Negli ultimi anni la crescita dei movimenti deriva dal consolidarsi di diversi fattori:

- l'aumento della mobilità dovuta allo sviluppo del turismo;
- all'incremento del numero di viaggi per affari;
- l'incremento del numero di tratte aeree;
- la diffusione delle tariffe speciali;
- il miglioramento delle infrastrutture di accoglienza presso alcuni dei principali scali nazionali.

Su queste basi, si può giustificare il movimento passeggeri dei servizi internazionali, che ha registrato una crescita notevole (+10,5%). In particolare, il traffico di linea evidenzia un aumento del 12,6% a fronte di un più modesto incremento (+1,2%) dei servizi charter.

Il movimento passeggeri dei servizi nazionali presenta un incremento più modesto (+8,7%), con un aumento più significativo nei servizi charter (+9,4%) rispetto ai servizi di linea (+8,7%).

Nella tabella 1.8 possiamo osservare come negli ultimi anni si sia evoluto il numero di utenti che hanno scelto di utilizzare il servizio di trasporto aereo, il

numero di movimenti degli aeromobili e il numero di operazioni di trasporto merci.

Tabella 1.8: Traffico passeggeri , merci, mezzi 1990/2007 – ISTAT

Anni	Movimenti Aeromobili		Passeggeri		Cargo	
	Numero	Variazioni anni Prece- denti	Numero	Variazioni anni Prece- denti	Numero	Variazioni anni Prece- denti
2000	1.247.419	9,0%	91.454.127	11,5%	748.821	11,1%
2001	1.238.239	-0,7%	90.210.038	-1,4%	723.002	-3,4%
2002	1.216.750	-1,7%	90.609.737	0,4%	736.346	1,8%
2003	1.301.868	7,0%	100.107.925	10,5%	778.265	5,7%
2004	1.312.445	0,8%	106.989.798	6,9%	820.167	5,4%
2005	1.348.715	2,8%	112.931.916	5,6%	868.553	5,9%
2006	1.419.875	5,3%	122.889.091	8,8%	915.906	5,5%
2007	1.533.490	8,0%	135.315.674	10,1%	980.448	7,0%

In questo scenario, non può non essere considerato il fenomeno delle compagnie aeree denominate “Low cost”, le quali sono caratterizzate da prezzi significativamente inferiori da quelli praticati dalle compagnie aeree tradizionali.

In generale, tali compagnie evidenziano:

- un’offerta di servizi limitati all’essenziale;
- nessun piano di volo coordinato con altre compagnie aeree;
- risparmi di spese attraverso la distribuzione diretta, specialmente attraverso call-center e su internet, con postazioni automatiche di registrazione;
- variabilità dei prezzi a seconda dell’affollamento previsto;
- adozione di strategie di fuel hedging, ovvero acquisto di grandi scorte di carburante per limitare di rifornirsi nei momenti in cui i prezzi sono alti;
- assenza di garanzia per i proseguimenti (il viaggio può essere effettuato solo da punto a punto);

“Low cost” è diventata una nuova filosofia del mondo del trasporto aereo commerciale e lo testimoniano le crescenti quote di mercato acquisite in questi anni dalle compagnie che la applicano. In questo modo seppur con qualche aspet-

to negativo, si è stato in grado di stimolare il mercato incrementando il volume del traffico passeggeri e sviluppando altre attività collegate al turismo e ai viaggi d'affari.

1.8 Il sistema dei trasporti in Sicilia

Posizionata ai confini meridionali dell'Unione Europea, la Sicilia risente della condizione di perifericità geografica aggravata da una dotazione di infrastrutture di trasporto inferiore alla media italiana ed europea.

Lo spopolamento dei centri minori e lo sviluppo caotico delle aree metropolitane rendono centrale il peggioramento della mobilità urbana. Le infrastrutture di trasporto coinvolgono tutti i settori, oltre che la collettività stessa; in particolare la loro efficienza è necessaria per garantire l'accessibilità e la mobilità nel territorio, oltre alla puntualità e alla sicurezza nel trasferimento.

Esiste un legame tra lo sviluppo economico di un'area e la presenza di una buona rete infrastrutturale. Si può sostenere che le dotazioni infrastrutturali ed il sistema dei trasporti in particolare, sono tra i principali fattori utili allo sviluppo di un'area territoriale, anche se essi, da soli, non possono essere considerati sufficienti a garantire lo sviluppo economico. Peraltro, anche il calcolo stesso delle dotazioni infrastrutturali non è semplice; esistono vari studi che utilizzano indicatori di infrastrutturazione calcolati rispetto alla popolazione, al territorio o ad altre variabili. I risultati non sono generalmente univoci, variando a seconda degli indicatori prescelti. In base ai dati dell'Istituto Tagliacarne (2001), il Mezzogiorno italiano e la Sicilia sono caratterizzati da un livello di infrastrutture inferiore alla media italiana. Mediamente il Meridione ha una presenza di infrastrutture sul territorio pari al 78,1% del livello medio nazionale; la Sicilia si colloca su un livello migliore, ma sempre inferiore a quello medio nazionale, con un valore pari all'86,2%.

In Tabella 1.9 in dettaglio la situazione siciliana nei riguardi del sistema dei trasporti (i numeri esprimono un valore in percentuale):

Tabella 1.9: Indicatori di dotazione infrastrutturale

Province	Strade e autostrade	Ferrovie	Porti	Aeroporti	Totale
Agrigento	73,2	65,5	116,9	41,6	59,8
Caltanissetta	77,2	77,1	151,8	21,8	63,9
Catania	67,4	61,6	227,5	110,6	108,7
Enna	103,0	66,5	81,1	27,3	51,7
Messina	142,0	107,0	196,9	85,8	106,2
Palermo	82,7	56,8	86,9	135,4	89,1
Ragusa	64,6	28,7	98,0	12,6	58,6
Siracusa	65,1	73,5	368,3	17,3	93,4
Trapani	104,5	32,9	286,4	137,3	95,7
Sicilia	87,4	64,7	174,9	81,7	86,2
Mezzogiorno	91,8	84,7	109,2	60,5	78,1

La rete stradale esistente è caratterizzata da livelli di efficienza disomogenei, sia per l'inadeguatezza della dotazione infrastrutturale sia per la mancanza di nodi efficacemente collegati in rete in un'ottica intermodale. Stesse considerazioni possono farsi per la rete ferroviaria, le cui carenze si rilevano sia nelle linee commerciali (le due dorsali tirrenica e ionica) sia, e maggiormente, nelle linee di interesse regionale.

La rete ferroviaria siciliana in esercizio è estesa 1.440 Km, di cui solamente 102 Km a doppio binario, che rappresenta lo 0,16% della rete nazionale, e 744 Km elettrificati, che rappresentano il 51,6% della rete regionale contro il 63% della rete nazionale.

Il settore portuale, commisurato alle esigenze di traffico attuali, presenta vuoti infrastrutturali evidenti e carenze notevoli riguardo ai collegamenti con il retroterra portuale e le infrastrutture logistiche.

Per gli aeroporti, il continuo aumento del traffico ha determinato la congestione degli scali di Palermo e Catania e ha posto in evidenza l'inadeguatezza anche degli scali minori. Il generale aumento anche in Sicilia, in linea con il trend nazionale, del traffico passeggeri è stato assorbito per la maggior parte dal trasporto stradale, che a fronte di una staticità della rete sia in termini di qualità sia in termini di sviluppo chilometrico dei tracciati ha determinato un abbassamento della qualità dei servizi, con maggiori livelli di inquinamento, incidentalità e congestione.

1.9 Le infrastrutture stradali

Data la poca competitività ed efficienza del trasporto su rotaia, le imprese ed il turismo siciliano sono generalmente costretti a ricorrere al trasporto su gomma.

Nel 1999 il 58% del trasporto merci sulle medie e lunghe distanze si è rivolto al mezzo gommato ed un ulteriore 24% alla tipologia intermodale di tipo Ro/Ro (strada/mare). Anche nell'ambito stradale, la dotazione infrastrutturale regionale risulta fortemente deficitaria e pari al 60,6% del valore medio nazionale (70,5 il dato del Mezzogiorno). La rete viaria esistente sul territorio siciliano è pari a quasi 21.000 chilometri, di cui il 2,7% rappresentato da autostrade, il 17,3% da strade statali e l'80% da strade provinciali e comunali (Fonte Regione Siciliana 2001).

Il sistema viario si basa, in particolare, su una rete di grande viabilità comprendente le seguenti arterie.

Autostrade:

- a. A18 Messina-Catania: è interamente aperta al traffico, lunga 76,4 km.
- b. Tangenziale di Catania che connette la Messina-Catania con Siracusa.
- c. A18 Siracusa - Gela: in esercizio sino a Rosolini per una percorrenza di soli 50 km.
- d. A19 Palermo-Catania: interamente aperta al traffico. Si sviluppa per una lunghezza di circa km 193.
- e. A20 Messina-Palermo: la struttura risulta interamente percorribile nei due sensi di marcia.
- f. A29 Palermo-Mazara del Vallo/A29 diramazione per Trapani: si sviluppa per circa km 114.

Le autostrade A18 ed A20 sono gestite dal Consorzio per le Autostrade Siciliane, costituitosi nel 1997 dall'unificazione di tre distinti Consorzi concessionari ANAS, mentre le rimanenti sono sotto la gestione dell'ANAS.

La rete delle strade statali, presenti in Sicilia, ha un'estensione complessiva di 2.377,824 km e le principali arterie sono:

- a. la SS 113: (settentrionale sicula) Messina-Patti-Cefalù-Palermo-Alcamo-Trapani con un'estensione di 306,933 km;
- b. la SS 115: (sud occidentale sicula) Trapani-Marsala-Mazara del Vallo-Agrigento-Licata-Gela-Siracusa, con un'estensione di 265,455 km;
- c. la SS 121: Catania-Marianopoli-Valllunga Pratameno, con un'estensione di 168,614 km;
- d. la SS 189: Bivio Manganaro-Agrigento, con un'estensione di 67,78 km;
- e. la SS 640: Porto Empedocle-Agrigento-Caltanissetta con un'estensione di 65,34 km.



Figura 1.4: Rete viaria siciliana suddivisa per categoria

In generale vi è un problema di qualità delle reti di trasporto e delle strutture logistiche o una loro non ottimale distribuzione sul territorio.

La rete stradale e autostradale ha bisogno di un miglioramento dei livelli di servizio mediante interventi di completamento e ammodernamento, con lo scopo

di incrementare il grado di connettività della rete, velocizzando i collegamenti tra i nodi urbani, le aree costiere e l'entroterra, dove vanno valorizzate risorse naturali, paesaggistiche ed archeologiche, in molti casi emarginate, proprio per carenza di sufficienti collegamenti, dai circuiti turistici.

La parte costiera meridionale della Sicilia, le aree interne, i territori nei quali ricadono importanti parchi e riserve naturali (Madonie e Nebrodi), pur con i loro patrimoni importanti per l'attrattività turistica, lamentano scarsi livelli di accessibilità e ridotta offerta di servizi di trasporto, decisivi per relegarli ad un ruolo modesto nel panorama turistico dell'isola.

In Figura 1.5 sono rappresentati, in colori che ne distinguono l'intensità, i flussi veicolari sulla rete stradale siciliana.

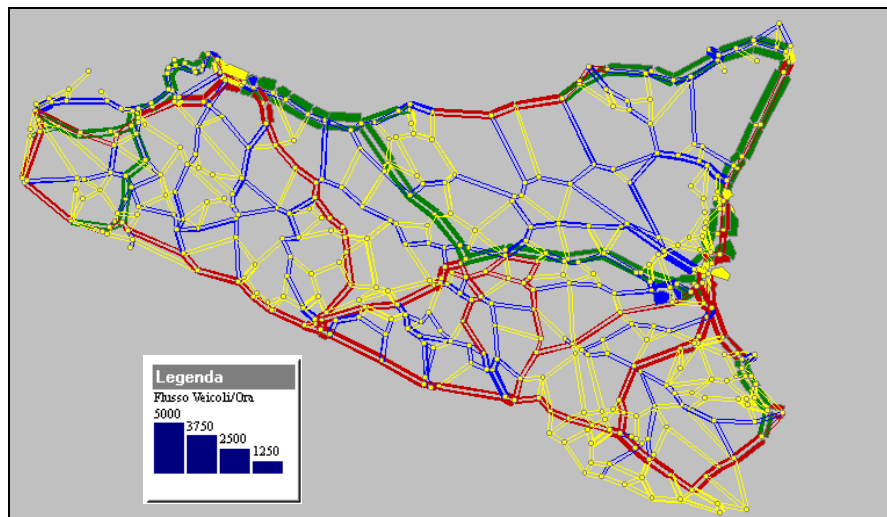


Figura 1.5: Flussi sulla rete stradale,

In Figura 1.6 e in Figura 1.7 sono riportate rispettivamente l'accessibilità attiva e l'accessibilità passiva della Sicilia.

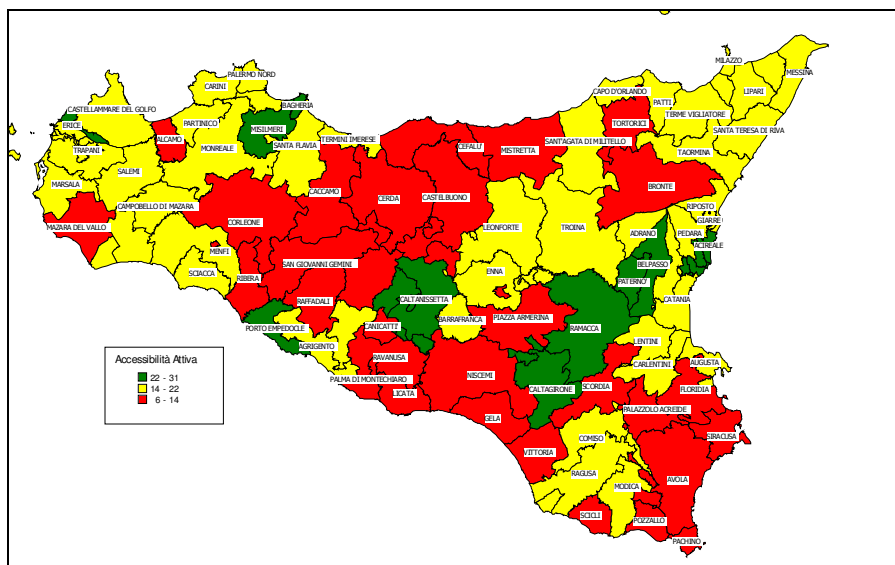


Figura 1.6 Accessibilità “attiva”

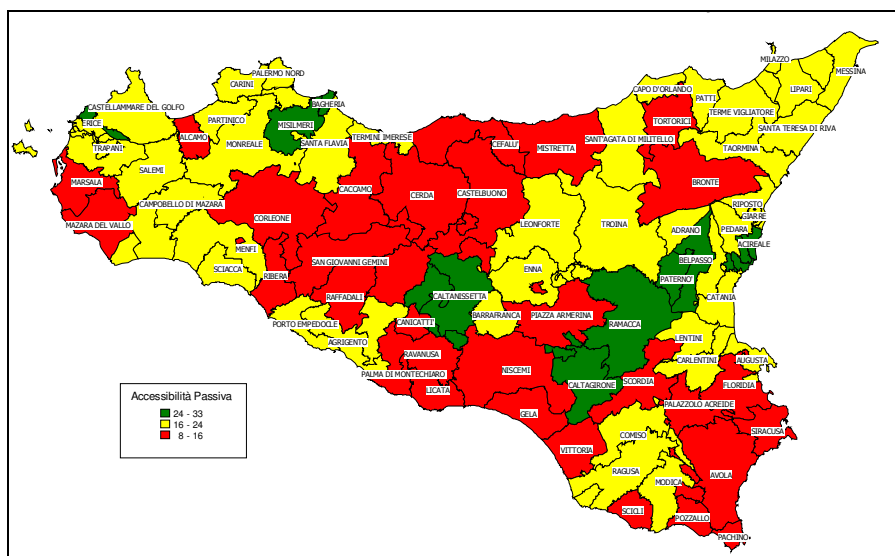


Figura 1.7: Accessibilità “passiva”

È facile notare come emerge il colore rosso, distintivo delle zone con bassa accessibilità, nell’area sud orientale e centrale dell’isola (province di Siracusa, Ragusa, Caltanissetta, Agrigento, Enna). La causa è da ricercare nella carenza di collegamenti adeguati da e verso tali zone.

1.10 Le infrastrutture ferroviarie

Lo stato della rete ferroviaria, soltanto in parte elettrificata per 744 Km, è basato in buona parte ancora sul binario unico anche nelle tratte più importanti come i collegamenti tra le tre città principali. I dati evidenziano il palese stato di arretratezza, soprattutto se paragonati al panorama di riferimento nazionale, dove le linee a doppio binario rappresentano il 35% della rete, mentre quelle elettrificate il 58%.

Sia il trasporto delle persone sia quello delle merci risultano particolarmente penalizzati dalla vetustà della rete che non consente collegamenti rapidi. Un dato per tutti: la tratta Palermo – Catania, una delle principali e pari a circa 200 Km, viene percorsa in oltre tre ore.

La mancanza di un attraversamento stabile dello stretto di Messina, con la necessità di scomporre i convogli ferroviari per imbarcarli sui traghetti, impedisce l'utilizzo della rete Eurostar per la non scomponibilità dei suoi convogli. La dotazione media siciliana di infrastrutture ferroviarie è pari al 64,7% del dato nazionale, livello notevolmente più basso di quello meridionale (84,7%); tra le province Ragusa e Trapani sono le più penalizzate, con valori pari rispettivamente al 28,7% e 32,9%.

Per ciò che concerne la funzione svolta dalla rete ferroviaria, essa può essere distinta in tre classi:

- a. rete commerciale costituita dalle due dorsali tirrenica e ionica, sulla quale vengono svolti i principali servizi di collegamento della Sicilia con il resto d'Italia;
- b. rete integrativa a quella commerciale;
- c. rete di esclusivo interesse locale.

La rete ferroviaria siciliana è costituita dalle linee seguenti:

- Messina Centrale-Catania-Siracusa di 186 km. Per circa tre quarti del suo percorso risulta essere dotata di un singolo binario.
- Messina-Palermo di 232 km, 145 dei quali sono a singolo binario.

- Catania-Lentini Diramazione-Gela, 137 km, velocità massima raggiungibile nel tratto Caltagirone-Gela su valori prossimi ai 100 km/h.
- Messina-Catania-Enna-Caltanissetta-Aragona, misura circa 78 km. Le velocità massime raggiungibili si attestano intorno agli 85 km/h, mentre la velocità commerciale raggiungibile scende intorno ai 50/60 km/h. Solo di recente la tratta è stata elettrificata.
- Palermo-Caltanissetta-Catania ha una lunghezza di 243 km
- Palermo-Agrigento presenta una lunghezza di 138 km. La velocità massima raggiungibile, come la quasi totalità della rete isolana, è di 85-90 Km/h.
- Palermo-Alcamo-Castelvetrano/Milo-Trapani presenta una lunghezza pari a 126 km via Milo, e una lunghezza pari a 196 km via Castelvetrano. La velocità massima raggiungibile in solo 6 km di tratta è di 125 km/h, ma in realtà, quella effettiva si attesta su valori che vanno da 80 a 90 km/h.
- Taormina-Giardini-Randazzo presenta una lunghezza pari a 43 chilometri e prevede 8 punti di stazionamento.
- Agrigento-Canicattì-Gela-Ragusa-Siracusa presenta una lunghezza pari a circa 264 km. La velocità massima raggiungibile si attesta intorno agli 85-90 km/h.

A livello metropolitano sono da citare:

- la linea Palermo Stazione Centrale - Punta Raisi, di circa 40 km. Alla stessa si aggancia un breve circuito a forma di ferro di cavallo che si sviluppa per circa 4 km e che permette di raggiungere la stazione di Palermo-Notarbartolo partendo dalla fermata Giachery, prossima al porto di Palermo.
- La linea ferroviaria CE Circumetnea è a scartamento ridotto (950 mm), si sviluppa su di una lunghezza di circa 111 chilometri, ai quali devono aggiungersene altri 4 km per il servizio metropolitano.

In Figura 1.8 viene mostrata la rete ferroviaria siciliana.

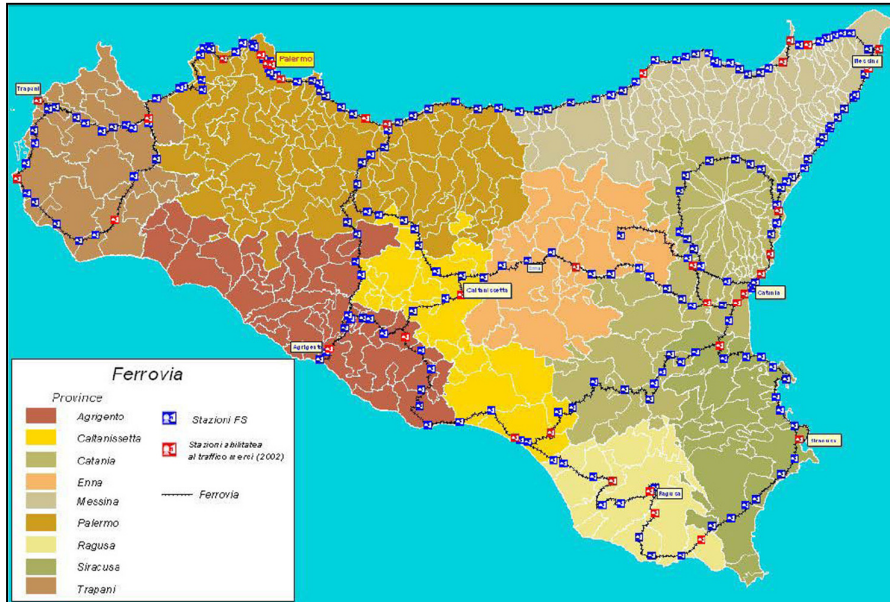


Figura 1.8: Rete ferroviaria siciliana suddivisa per categoria

1.11 Le infrastrutture portuali

Nonostante il livello di infrastrutture portuali, rispetto al bacino di utenza, risulti superiore alla media nazionale (174,9%).

Il principale problema delle infrastrutture portuali regionali non risiede nel numero di porti presenti nel territorio bensì nella tipologia e nella qualità dei servizi offerti da tali strutture, palesemente inadeguate rispetto alle necessità del sistema dei trasporti in generale. In particolar modo, è stata posta una scarsa attenzione all'intermodalità tra i differenti mezzi di trasporto, mancando i necessari raccordi stradali e ferroviari che ne possano permettere un'efficiente integrazione.

Le infrastrutture portuali regionali si possono suddividere in:

- *porti di interesse nazionale*: le cui sedi di autorità portuale sono Palermo, Messina, Catania ed Augusta;
- *porti di interesse regionale*: Porto Empedocle, Trapani, Siracusa, Gela, Pozzallo, Licata, Marsala e Mazzara del Vallo;

- *porti che garantiscono l'accessibilità alle isole minori e porti per il diportismo nautico;*
- *porti militari e per la sicurezza:* Trapani e Sciacca.

In tabella 1.11 sono riportati i dati relativi ai posti barca complessivamente presenti in Sicilia distinguendoli anche per provincia.

Tabella 10: Ricettività e posti barca per provincia siciliana

Province	Strutture nautiche			Posti barca
	Complessive	Non Ufficiali	Ufficiali	
Messina	32	18	14	1.995
Trapani	23	6	17	2.925
Palermo	20	6	14	2.803
Siracusa	19	8	12	1.841
Catania	17	6	11	2.366
Agrigento	13	7	6	1.330
Ragusa	5	1	3	220
Caltanissetta	1	1	0	n.d.
<u>Totale</u>	<u>130</u>	<u>53</u>	<u>77</u>	<u>13.480</u>

Lo sviluppo delle vie di comunicazione marittime potrebbe portare a una maggiore incidenza del turismo nautico, quasi del tutto assente nell'isola a causa del modesto numero di porti turistici attrezzati. Nonostante siano presenti lungo i litorali regionali numerosi approdi e porti turistici, la maggior parte di questi sono di quarta classe, alcuni sono difficilmente praticabili, soprattutto per le imbarcazioni di maggiore dimensione, e molti di questi non sono neppure dotati di servizi igienici a terra, di servizi di rimessaggio o di distributori di carburante. Inoltre i posti barca nel complesso esistenti nei porti siciliani sono appena sufficienti a coprire le esigenze dei residenti, consentendo quindi poco spazio allo sviluppo della nautica da diporto.

In Figura 1.9 sono riportate graficamente le posizioni degli approdi turistici presenti in Sicilia.

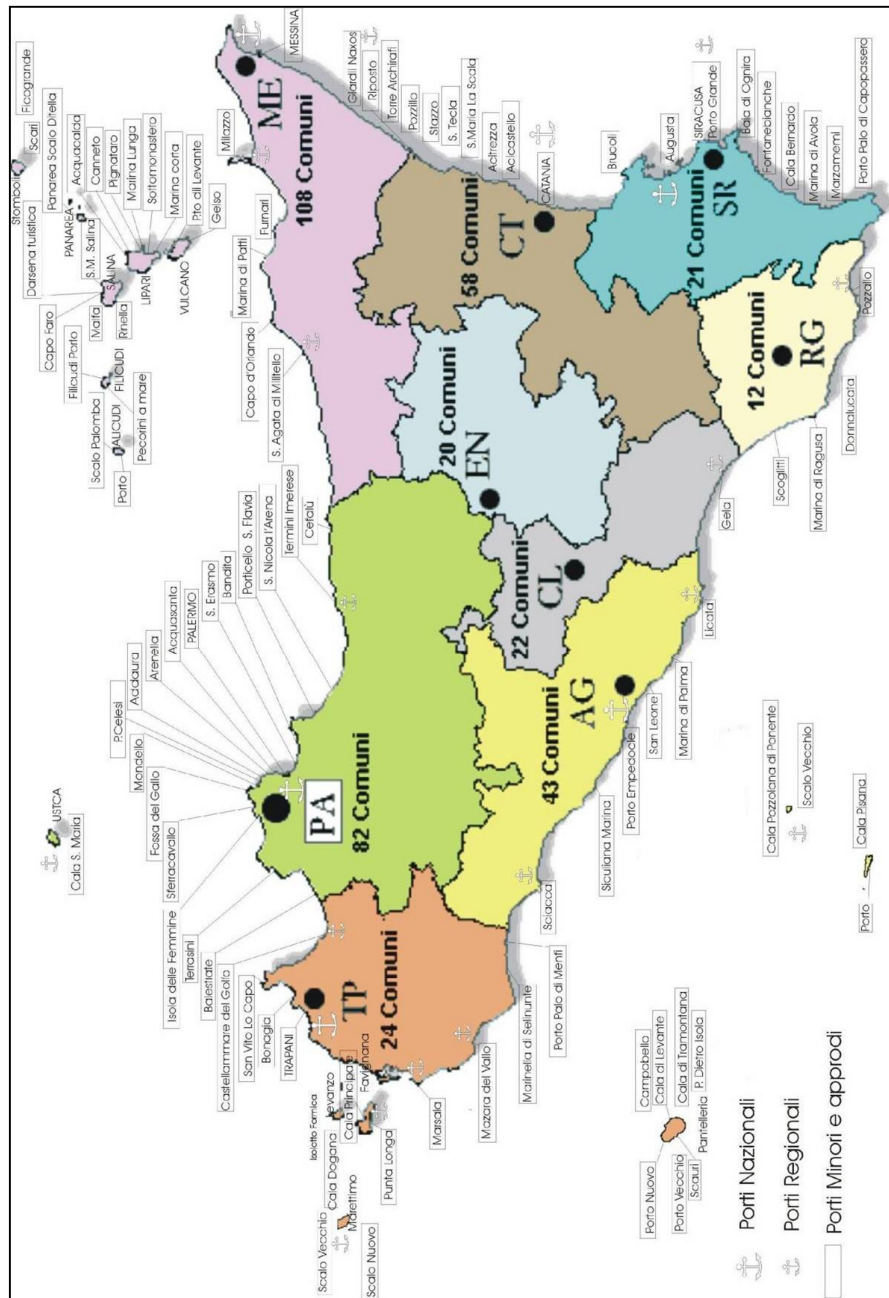


Figura 1.9 Porti ed approdi della regione Sicilia

Sarebbe utile creare una rete regionale di porti turistici, poiché le singole strutture non hanno sufficiente capacità di attrazione.

La Regione Siciliana sta predisponendo un programma per la riconversione di alcune strutture verso la nautica da diporto; le potenzialità più alte si ritrovano nelle isole minori, i cui porti rappresentano anche strutture essenziali per garantire l'accesso ai turisti.

Le isole minori siciliane sono principalmente collegate con il territorio attraverso il trasporto marittimo, infatti solamente l'isola di Pantelleria e l'isola di Lampedusa sono dotati di aeroporto e quindi serviti dal collegamento aereo.

Il collegamento elicotteristico ad oggi è, come vedremo meglio in seguito, un collegamento "on demand", senza una precisa schedulazione, e viene realizzato esclusivamente da e verso le isole Eolie.

Il trasporto marittimo, dunque, copre la totalità dei collegamenti tra la Sicilia e le sue isole minori ad eccezione di una lieve percentuale coperta dal trasporto aereo relativamente alle isole di Lampedusa e di Pantelleria.

Va sottolineato che lo sviluppo delle vie di comunicazione marittime potrebbe portare ad una maggiore incidenza del turismo nautico, quasi del tutto assente nell'isola a causa del modesto numero di porti turistici attrezzati. Il potenziamento di servizi quali la fornitura d'acqua, il servizio lavanderia, il rifornimento carburante e il servizio meteo potrebbero rappresentare un incentivo per lo sviluppo del turismo nautico regionale e dunque, di riflesso, per la fruizione del servizio elicotteristico che sarebbe utile per raggiungere luoghi di interesse storico-culturale altrimenti irraggiungibili in tempi brevissimi.

1.12 Infrastrutture aeroportuali

La rete aeroportuale regionale può sintetizzarsi nei tre grandi poli Palermo, Catania e Trapani. Essi sono caratterizzati da un continuo incremento del traffico che in alcuni casi, vedi Palermo e Catania, ha portato a problemi di congestione e ha posto in evidenza l'inadeguatezza anche degli scali minori.

In termini meno generali, può farsi riferimento alla distinzione prevista dal Piano Attuativo delle modalità di trasporto aereo della Regione Siciliana, che prevede:

- Un Sistema Aeroportuale Occidentale: Palermo Punta Raisi – Trapani Birgi, dove si predilige per Punta Raisi il collegamento diretto con il Servizio Ferroviario Metropolitano di Palermo; per Trapani, invece, il potenziamento del collegamento stradale.
- Un Sistema Aeroportuale Orientale: Catania Fontana Rossa – Comiso, dove per l'aeroporto di Fontanarossa si propone un collegamento tramite “people mover” dall'aerostazione ad una nuova fermata sulla ferrovia ubicata tra le stazioni di Bicocca e Acquicella in modo da garantire una connessione veloce con Servizio Ferroviario Metropolitano e Servizio Ferroviario Provinciale; per Comiso il potenziamento del collegamento stradale.
- Aeroporti delle isole minori di Lampedusa e Pantelleria per i quali, in analogia a Trapani e Comiso, è prevista una specializzazione a favore di voli charter/stagionali, merci, collegamenti a scala regionale e di emergenza.
- Aviosuperfici di iniziativa privata nell'area di Gela e della fascia tirrenica. Tali strutture sono destinate ad ospitare attività di aviazione generale ed eventuali collegamenti a corto raggio.
- Elisuperfici H24 per promuovere l'uso del trasporto elicotteristico

L'aspetto fondamentale da prendere in considerazione in un'attenta pianificazione di una rete di eliporti in ambito regionale è proprio l'accessibilità ai nodi aeroportuali.

In termini di disutilità percepita dai viaggiatori, i segmenti di accesso e di uscita dagli aeroporti (trasferimenti di modo, attese, tempi di viaggio, ulteriori tragitti pedonali con bagaglio a seguito) possono influire fortemente sulle loro scelte di viaggio (in generale anche sulla loro destinazione) e possono decretare il successo o fallimento di un servizio di trasporto.

CAPITOLO SECONDO

ATTRATTIVITÀ DELLA SICILIA E ANALISI DELLA DOMANDA DEL SERVIZIO

2.1 Introduzione

Il problema della mobilità in Sicilia è, come detto precedentemente, una fonte di notevole disagio per il cittadino. Tale disagio si accentua se consideriamo la Sicilia non solo come territorio abitato da “residenti” ma anche come territorio ricco di attrattività turistiche.

Il servizio che si intende studiare è infatti pensato non soltanto per i residenti ma anche e soprattutto per soddisfare la notevole domanda di trasporto che si genera dai flussi turistici.

2.2 La capacità di attrarre turismo

Una delle più grandi potenzialità economiche della Sicilia risiede nell’ampio panorama artistico, storico, culturale e paesaggistico che riesce ad attrarre un flusso turistico non indifferente. I beni culturali siciliani possono, in quest’ottica, assicurare un vantaggio competitivo anche su scala nazionale. In Sicilia si possono contare innumerevoli beni di carattere storico-artistico e naturalistico, in particolare sono state censite circa 340 risorse culturali complessive:

Tabella 2.11: Patrimonio culturale in Sicilia

RISORSE CULTURALI	340
Beni archeologici	130
Edifici religiosi storico-artistici	85
Beni ambientali e musei di storia naturale	31
Musei folcloristici e delle tradizioni popolari	19
Beni storico artistici	75

La distribuzione di tali beni risulta abbastanza omogenea in tutto il territorio della regione. Indubbiamente il capoluogo è quello che registra la maggior presenza di beni con il 26% del totale, seguono Catania e Trapani col 13%, Messina con il 12%, Siracusa con l'11%, Agrigento con l'8%, Ragusa con il 7% ed infine Enna e Caltanissetta con il 5%.

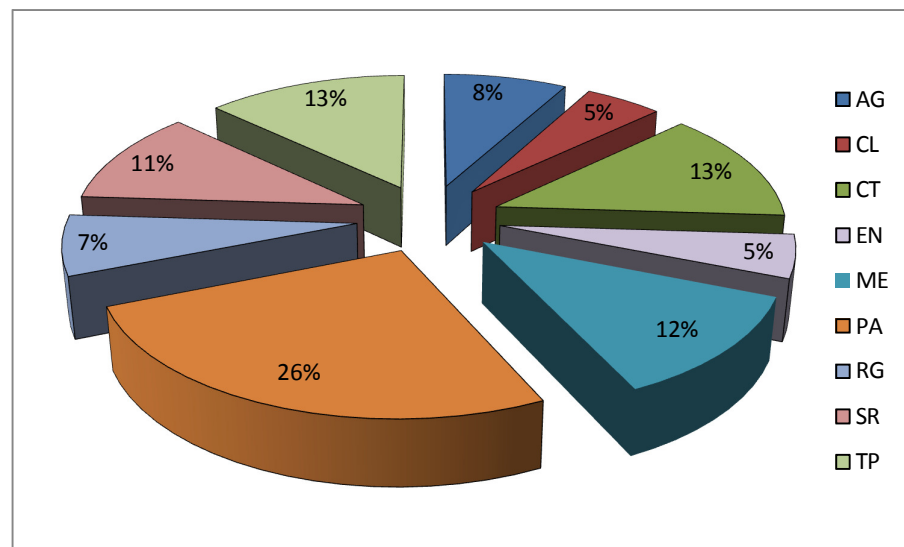


Figura 2.10: Distribuzione dei beni culturali in Sicilia

Di tutto il complesso del patrimonio culturale della Sicilia il 38,2% è rappresentato dai beni archeologici, il 25% da edifici religiosi, storici ed artistici, il 22,1% da beni storico-artistici, il 9,1% da beni ambientali e musei di storia naturale ed infine il 5,6% da musei folcloristici e delle tradizioni popolari. Per quanto riguardano le località, la più conosciuta, a livello nazionale e non, è Taormina con una percentuale del 27%, seguono Agrigento (18%), il capoluogo (15%), le isole minori in generale (10%), Siracusa (8%), Etna e Noto (6%), Segesta e Selinunte (4%) ed infine Sciacca e Catania (3%).

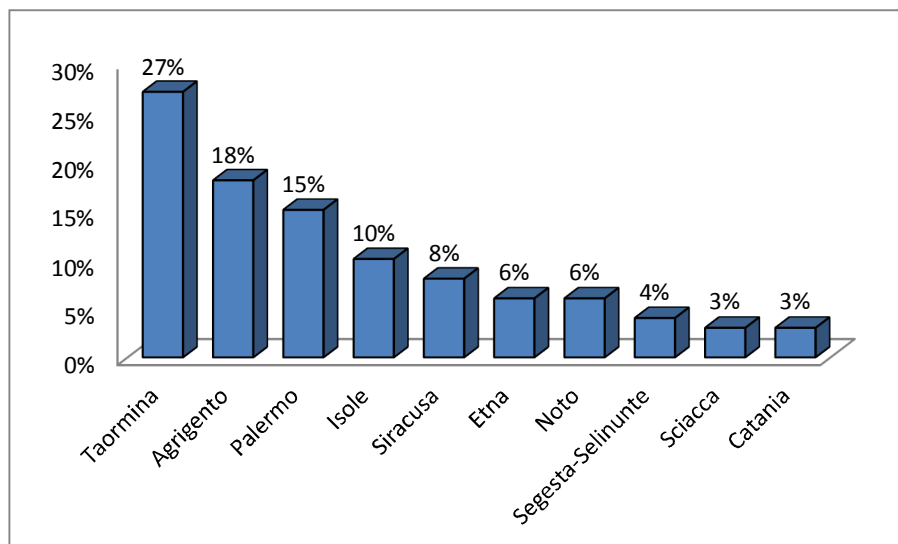


Figura 2.11 Notorietà delle principali località della Sicilia

La Figura 2.2 è di fondamentale importanza ai fini del nostro studio, in quanto quando svilupperemo la nostra indagine faremo riferimento, come luoghi origine-destinazione (O-D), proprio alle prime quattro località.

La Figura 2.3 mostra le presenze turistiche, espresse in percentuale, nelle diverse province della Sicilia.

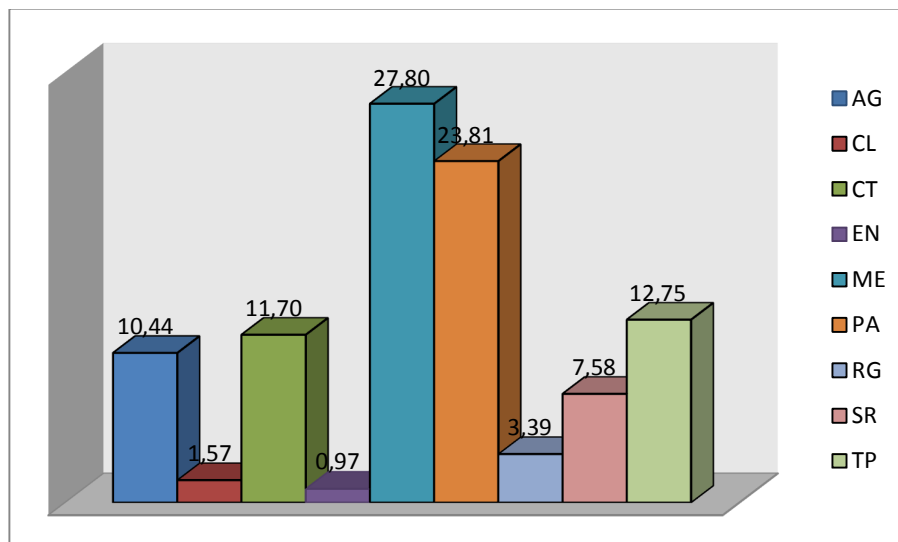


Figura 2.12: Presenze turistiche in percentuale, nelle varie province della Sicilia

2.3 I flussi turistici

Una classifica sulla base delle presenze turistiche vede la Sicilia al decimo posto fra le regioni d'Italia. Se restringiamo il campo d'osservazione al solo Sud Italia, essa si colloca al secondo posto. A livello nazionale è preceduta dal Veneto, dal Trentino Alto Adige, Emilia Romagna, Lombardia, Lazio, Campania, Liguria e dalle Marche.

Se prendiamo come riferimento il rapporto fra il numero degli arrivi turistici e la superficie della regione (espressa in Km²), notiamo come la Sicilia sia al di sotto della media nazionale con 158 arrivi per Km² contro i 247, e si trova al 13° posto fra le regioni italiane, come mostrato in Figura 2.4.

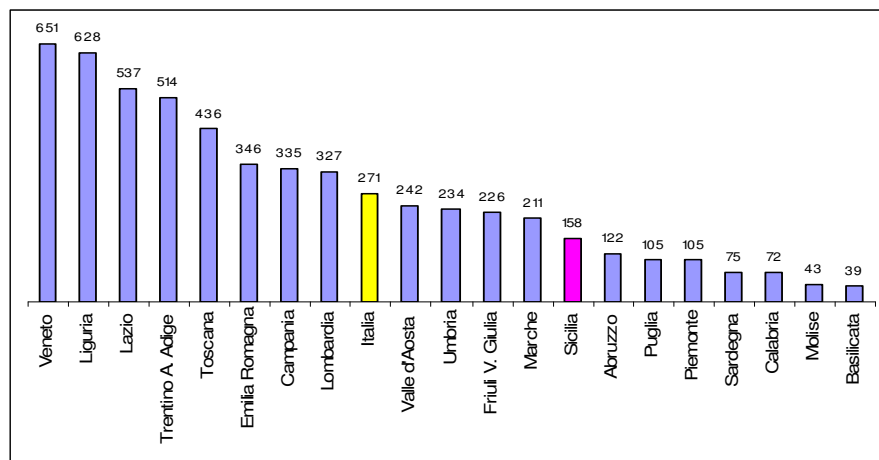


Figura 2.13: Posizionamento della Sicilia in base agli arrivi turistici per Km²

Analizziamo adesso quali sono le origini di questi flussi turistici. La maggior parte di essi proviene dall'Italia stessa, ancor più che dall'estero, tuttavia questo dato va commisurato al periodo di riferimento, in quanto i flussi sono fortemente influenzati dalla stagionalità. Ci sono, infatti, alcuni mesi all'anno in cui la presenza straniera in Sicilia supera la presenza italiana, in particolare a maggio e ad ottobre. Un aspetto comunque caratterizzante è che il turismo straniero è abbastanza inferiore, se confrontato con il dato medio nazionale. Bisogna comunque considerare che risulta superiore ai primi due, la presenza turistica interna alla Sicilia stessa.

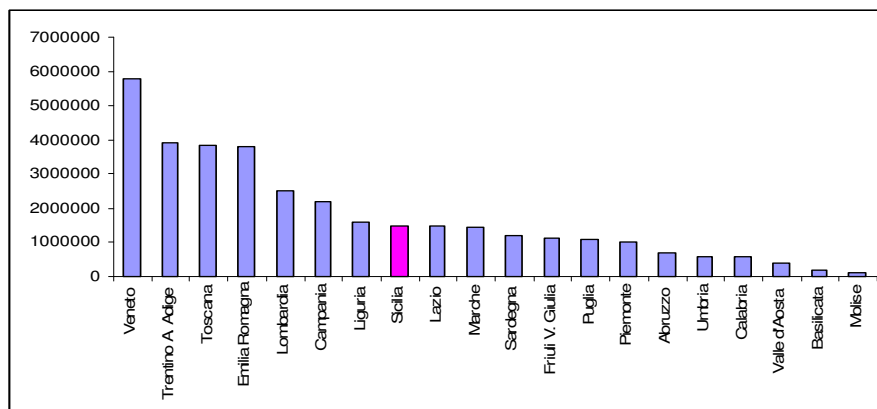


Figura 2.14: Posizionamento della Sicilia per numero di presenze nel contesto nazionale

La minore capacità di attrarre il turismo estero è comune a tutto il Sud Italia, eppure la Sicilia è quella che ne risente di meno in tutto il mezzogiorno. Fra i motivi per cui viene scelta la nostra regione come meta troviamo al primo posto la presenza del vasto patrimonio artistico e culturale con il 49% delle preferenze, al 31% vi è il mare ed il sole, al 18% la sicilianità e solo il 2% per altri motivi.

Per quanto riguarda la durata della permanenza, la media è superiore a quella nazionale, 4,3 giorni in Sicilia contro i 3,4 del resto d'Italia. La maggior parte dei turisti, circa il 55%, sceglie alberghi a tre stelle, mentre gli alberghi a quattro stelle sono scelti dal 22% circa dei turisti. Questi ultimi sono molto importanti ai fini del nostro studio infatti le indagini svolte sono state eseguite proprio in quegli alberghi.

Il trasporto in elicottero è un trasporto destinato ad utenti che danno al proprio tempo un alto valore economico, cioè persone che pur di risparmiare tempo sono disposte a pagare di più il costo del trasferimento. Da qui la scelta di svolgere l'indagine in alberghi dove è più probabile incontrare questo tipo di utenza. In Sicilia si possono contare 217 esercizi alberghieri a quattro stelle per un totale di 16.476 camere, superate soltanto dalle 21.381 camere dei 469 alberghi a tre stelle.

2.4 Dati ricavati dal Secondo Report Agusta redatto dal D.I.TRA.

La ricerca svolta ha evidenziato le possibilità di utilizzazione dell'elicottero da parte di una specifica categoria di utenti specialmente nel campo dei collegamenti tra poli turistici molto attrattivi in Sicilia, area geografica che è stata voluta come regione di sperimentazione dei modelli di domanda applicati: certe caratteristiche delle relazioni esaminate, anche con riferimento a quelle dei modi di trasporto alternativi, fanno sì che anche gli utenti appartenenti alla fascia di reddito più bassa manifestino una forte propensione per il viaggio in elicottero, con una probabilità di scelta del mezzo aereo di circa il 72%.

L'elicottero è in grado di competere, oltre che con i mezzi marini e quelli terrestri presi in considerazione all'interno del *range* della maggior parte delle distanze esistenti tra le principali città della sicilia.

Il velivolo ad ala rotante presenta costi di esercizio più alti che devono trovare compensazione nell'applicazione di tariffe più alte.

Convenienza, bassi tempi e costi di accesso al terminal, elevata frequenza e disponibilità di collegamenti, sono gli attributi discriminanti che possono indurre i viaggiatori a scegliere l'elicottero rispetto ad altri modi di trasporto alternativi.

A causa degli elevati livelli tariffari richiesti, inizialmente l'elicottero potrebbe sviluppare servizi passeggeri *point-to-point* di tipo *executive* e *business*, dato che, in questo caso, il costo delle tariffe sarebbe sostenuto dalle aziende di appartenenza dei viaggiatori e parte di questo costo sarebbe recuperato sia come riduzione fiscale sia come riduzione dei costi di missione (tempo di viaggio e pernottamento).

Qualora il mezzo ad ala rotante sia usato per voli di corto raggio, ad esempio per servizi *feeder* tipo *hub-to-spoke* e *spoke-to-hub*, il prezzo del biglietto non può essere stabilito semplicemente in relazione al costo di esercizio del velivolo usato, ma deve tenere conto di un insieme di fattori, comprese le dimensioni dell'*hub*, il livello di concorrenza e le politiche di *revenue management* adottate alla scala dell'intera rete dei collegamenti serviti dalla compagnia.

Non è da escludere una forma di contributo finanziario di tipo pubblico ai servizi di trasporto passeggeri con l'elicottero quando esistano una o più delle seguenti circostanze:

- si riconosce che il traffico effettuato con l'elicottero contribuisce alla riduzione dei costi di congestione dei principali aeroporti *hub*;
- si riconosce il loro contributo al risparmio di costi di investimento per il potenziamento delle infrastrutture di trasporto di superficie;
- si riconosce il loro contributo a garantire la continuità e l'integrità territoriale di regioni svantaggiate dal punto di vista socio-economico;
- si riconosce il loro contributo ad aumentare il numero di persone che hanno accesso al trasporto aereo grazie alla possibilità di utilizzare aeroporti secondari, aviosuperfici e vertiporti, sia per la mobilità interna, sia per l'accesso agli aeroporti *hub* con collegamenti intercontinentali.

Il contesto mediterraneo appare particolarmente congeniale per l'introduzione dei servizi di trasporto mediante i mezzi di tipo VTOL per diversi motivi. La prossimità geografica di località di particolare interesse turistico e la scarsa qualità del sistema di trasporti terrestri conferiscono al trasporto aereo un ruolo che esso non è stato in grado di esprimere compiutamente anche per diverse ragioni politiche ed amministrative. In questo ambito, sembra che l'istituzione di una rete di collegamenti di tipo regionale o sovra-regionale (fondamentalmente con motivazioni turistiche), esercitati tramite l'elicottero, possa risultare vantaggiosa, soprattutto per i miglioramenti che ne deriverebbero in termini di accessibilità territoriale. Infatti, l'utilizzo dell'elicottero permetterebbe il collegamento con le zone più ambite dai turisti, ma oggi poco accessibili, sia per la deficienza dei modi di trasporto alternativi sia per la distanza dagli aeroporti principali. In più, va sottolineato che i ridotti tempi di viaggio consentiti dall'elicottero forniscono ai turisti l'opportunità di effettuare altri spostamenti (nell'ambito del periodo temporale dedicato alle vacanze) e, quindi, di visitare altri luoghi di particolare valenza paesaggistica, archeologica, storica e monumentale.

Infine, l'introduzione dei servizi di collegamento nella regione siciliana e nelle aree circostanti, tramite mezzi di tipo VTOL, i quali non necessitano né di infrastrutture significative né di alti livelli di domanda (in quanto sfrutterebbero la sopracitata strategia di *feeding* degli scali maggiori, convogliando tutto il traffico diretto e proveniente da essi) si configura come un possibile processo di sviluppo per tutta l'area meridionale dell'Italia, oggetto specifico di attenzione in questo lavoro.

CAPITOLO TERZO

MOTIVAZIONI DELL'USO DI MEZZI VTOL ED INDIVIDUAZIONE DELL'APPARECCHIO

3.1 Introduzione

Dal quadro descritto in precedenza emerge chiaramente la necessità di utilizzare un mezzo che sia veloce, che contribuisca a decongestionare la mobilità isolana e che possa raggiungere capillarmente tutto il territorio regionale.

Tali requisiti possono essere riassunti un acronimo VTOL: Vertical Take Off Landing cioè veicolo che possa decollare ed atterrare anche verticalmente e che quindi necessiti di spazi ridotti.

3.2 Una possibile soluzione ai problemi aeroportuali: i mezzi VTOL

I problemi connessi alla predisposizione di poli aeroportuali e delle relative facilities divengono sempre più complessi e di difficile risoluzione man mano che lo sviluppo economico ed industriale di molte aree porta ad un uso sempre più diffuso del trasporto aereo e, quindi, ad un aumento del traffico passeggeri in questo settore.

Per questo tipo di problemi la soluzione è affidata essenzialmente alla volontà ed alla capacità degli stati e delle comunità in genere di accettare gli oneri di forti investimenti, sovente per infrastrutture che non è possibile utilizzare in misura tale da ottenere un riscontro economico positivo. Soprattutto i trasporti

aerei di tipo convenzionale si trovano di fronte ad una serie di problemi di tipo infrastrutturale molto significativi ed onerosi, ingenerati prevalentemente dall'aumento stesso dell'attività e, quindi, dalla congestione che vi si manifesta con le conseguenti negatività anche di ordine ambientale.

In tale senso, le opportunità e le peculiarità connesse con l'impiego di mezzi a decollo verticale risultano, tra l'altro, funzionali alla risoluzione dei problemi prima evidenziati.

I mezzi VTOL possono contribuire a decongestionare, ad esempio, gli attuali aeroporti in tre differenti modi:

- a. creando nuovi aeroporti dedicati esclusivamente a questi velivoli, questi necessitano di dimensioni fortemente più contenute rispetto a quelle di un aeroporto tradizionale;
- b. destinando al traffico di mezzi non VTOL alcune aree interne alle aree aeroportuali esistenti;
- c. destinando al traffico VTOL piccoli aeroporti già esistenti ed oggi adibiti al traffico dell'aviazione privata.

Ciascuna delle soluzioni prospettate implica differenti investimenti e differenti risultati e, dunque, può risultare la più adatta a seconda delle differenti situazioni.

La predisposizione, poi, di analoghe infrastrutture nell'ambito dei centri urbani può peraltro portare a soluzione buona parte dei problemi di mobilità negli agglomerati di grande espansione (aree metropolitane e megalopoli, soprattutto) e, in particolare, i problemi di collegamenti fra gli scali aerei tradizionali e le zone centrali della città, ovvero i suoi centri direzionali. In tal senso, le infrastrutture eliportuali, più che a sostituirsi, verranno frequentemente ad aggiungersi ed integrarsi all'aeroporto suburbano esistente.

Le osservazioni svolte in questa nota hanno messo in evidenza la possibilità e la opportunità dell'introduzione dell'elicottero come elemento del sistema dei trasporti in contesti territoriali particolari, quali le aree con elevati connotati turistici, come le piccole isole di grande valenza naturalistica e paesaggistica, le grandi città e, in particolare, le megalopoli.

Le condizioni per la realizzazione di servizi commerciali attraverso l'attivazione di linee regolari sul breve raggio sono mature sotto ogni profilo.

Negli arcipelaghi e nelle isole, dove vengono attratti elevati flussi di visitatori, si manifestano ostacoli vari per un rapido accesso e per movimenti, a partire da quella base, volti ad allargare le conoscenze dei turisti nelle aree archeologiche, storiche, monumentali prossime al luogo principale delle loro vacanze. Nelle grandi aree urbane, per altro verso, esistono significative barriere fisiche, alte concentrazioni di popolazione, più di un aeroporto e un progressivo aumento della congestione del traffico di superficie: condizioni tutte affinché si espliciti una domanda di trasporti veloci, che non possono che essere quelli aerei e, specificamente, per mezzo di velivoli a decollo verticale.

Il valore del tempo di viaggio, legato alla motivazione dello spostamento, aumenta rapidamente con l'evolversi delle attività economiche e produttive, che trovano nelle grandi aree urbanizzate e nelle megalopoli, come pure nei contesti turistici di rinomanza internazionale, sempre maggiore concentrazione quantitativa e qualitativa.

La conseguente domanda di trasporto a mezzo di elicotteri non ha ancora trovato una risposta adeguata nell'offerta di servizi regolari, sia per le difficoltà intrinseche all'attivazione di servizi di tale tipo, sia, soprattutto, per la mancanza del necessario supporto logistico connesso alla predisposizione delle infrastrutture. Peraltro tale situazione ha, a sua volta, impedito a tale potenziale domanda di manifestarsi ed evolversi.

L'analisi della domanda stessa, che involve, nelle aree metropolitane, tutta una serie di parametri complessi, così come è complessa la realtà urbana da considerarsi, dovrà essere condotta con metodi scientifici, in modo da programmare un sistema globale dei trasporti comprendente i sistemi aerei a decollo verticale. Le stesse considerazioni possono svolgersi con riferimento alle aree turistiche e, in particolare, alle isole minori, che, specialmente in alcuni periodi dell'anno, sono al centro di grande attenzione da parte di rilevanti flussi di turisti, che, al di là del modo di trasporto con il quale vi arrivano, spesso manifestano, ma non soddisfano, l'esigenza di visitare in tempi brevi altri luoghi del territorio in cui si sono temporaneamente insediati.

Il momento gestionale dell'infrastruttura, dove per gestionale si intende l'intero complesso delle operazioni che sovrintendono alla fattibilità, al finanziamento, alla realizzazione ed alla gestione dell'infrastruttura stessa, costituisce fase preliminare ed imprescindibile di qualsivoglia discorso sulla produzione dei servizi elicotteristici.

Al riguardo è da evidenziare come le realtà straniere, alle quali in altri campi si guarda con notevole interesse per la molteplicità delle esperienze, la varietà della casistica e, in definitiva, l'originalità e la validità delle soluzioni, siano a questo proposito buon termine di paragone di limitata validità. E ciò non soltanto per la sostanziale differenza dei contesti, quanto per la mancanza di situazioni caratterizzanti ben determinati orientamenti, che sia possibile in qualche misura trasferire nell'ambito italiano.

Quanto detto vale esplicitamente per l'ambito europeo, dove i servizi elicotteristici trovano particolare collocazione all'interno di ambiti aeroportuali (vedi Nizza, Copenhagen, Londra), al cui ente gestore è parimenti demandata la competenza su tale infrastruttura.

Per contro, la corrispondente infrastruttura, in termini di polo all'interno del nucleo urbano (per i servizi tipo navetta), si configura più come una semplice area di involo, che non come un'area attrezzata di "facility" per la movimentazione dei mezzi ad ala rotante.

Indicazioni più puntuali su tale tema provengono quindi essenzialmente dall'area del Nord-America, statunitense nella sostanza, dove la consistente attività elicotteristica sviluppata in passato e l'impostazione di promozione della libera iniziativa e di "deregulation" ha fatto sì che si sviluppassero e concretizzassero soluzioni tipiche al problema gestionale degli eliporti.

3.3 Scelta dell'area da destinare a eliporto o helistop

La scelta del sedime di un eliporto in un'area urbana richiede la considerazione di molti fattori, i più importanti dei quali sono:

- i. la **sicurezza** attiva e passiva dell'infrastruttura sia lato aria (airside) sia a terra (landside);

- ii. il **rumore** che limita le operazioni di volo soprattutto per infrastrutture in prossimità di aree urbanizzate o centri ospedalieri;
- iii. l'**accessibilità** all'infrastruttura;
- iv. l'**integrazione con altre modalità di trasporto** (che promuova la facilità di interscambio);
- v. una **domanda potenziale anche se inespressa** (caratterizzata da forti traffici per business e/o turistici);
- vi. la **competitività** con altre modalità di trasporto in termini di performance del servizio (tempi e costi);
- vii. l'**uso dello spazio aereo** lungo le rotte per minimizzare il rischio di incidenti e l'inquinamento acustico.

La scelta finale del sito di un eliporto di solito è un compromesso tra questi fattori. I problemi maggiori sono da aspettarsi nelle aree metropolitane più estese e maggiormente sviluppate.

Il primo passo per la localizzazione di tali infrastrutture è quello di stimare la domanda e di costruire una matrice O/D.

Il secondo step consiste nel selezionare un sito per l'eliporto o diversi siti che possono ragionevolmente soddisfare la domanda e i requisiti sopra citati. Il principale mercato per il trasporto commerciale con elicotteri ha trovato luogo in estese aree urbane localizzate tra uno o più aeroporti e il nodo centrale del business della città.

Dunque, è fondamentale che l'eliporto del centro cittadino sia localizzato in posizione centrale vicino l'area alberghiera e il polo commerciale.

Nei complessi urbani molto estesi, possono essere presenti piccoli centri remoti dislocati in periferia, e dunque risultare necessari eliporti secondari per estendere i benefici del trasporto aereo anche in questi luoghi.

Un problema inerente all'inserimento degli eliporti nel sistema complessivo della mobilità è quello relativo all'impatto ambientale in termini di inquinamento atmosferico e di rumore. In merito all'inquinamento acustico, pur riconoscendo le caratteristiche del mezzo, al riguardo bisogna operare sull'opinione pubblica al fine di far superare la convinzione che l'elicottero sia un mezzo altamente rumoroso; gli elicotteri di nuova generazione possono considerarsi, nel

campo acustico, fonte di livelli sonori comparabili a quelli di altri mezzi di trasporto come treni, metropolitane, autobus e autocarri.

Per diminuire l'impatto acustico, la comunità scientifica ed industriale sta investendo ingenti risorse, ed opera attivamente anche ai fini dell'ottimizzazione delle traiettorie di decollo e di atterraggio, soprattutto nel caso di eliporti situati nelle vicinanze delle città, localizzazione che, per altro verso, renderebbe appetibile l'uso dell'elicottero.

Molto frequenti negli USA sono gli eliporti localizzati sul terrazzo di alti edifici, realizzati adottando speciali misure di sicurezza e di protezione. Generalmente, tali impianti sono adibiti ad uso privato a servizio di grandi compagnie commerciali i cui uffici si trovano al di sotto dell'eliporto, nei vari piani dell'edificio. Questa soluzione, sicuramente valida ai fini imprenditoriali, risulta poco efficiente per servizio di uso pubblico.

Una volta analizzate le necessità derivanti dallo sviluppo di un moderno eliporto, esso deve essere all'altezza delle condizioni di traffico, rispondendo nel miglior modo possibile alla domanda generata e perciò, la sua strutturazione è notevolmente influenzata dalla frequenza delle operazioni e dalla tipologia degli aeromezzi che devono utilizzarlo.

3.4 Il servizio di trasporto elicotteristico in Sicilia

In Sicilia non esiste un sistema schedato di trasporto a mezzo elicottero, esistono tuttavia alcune compagnie che effettuano dei collegamenti "on demand", cioè su richiesta, fra le varie località della regione.

Queste compagnie sono nate principalmente con lo scopo di colmare i vuoti nel sistema siciliano dei trasporti che collegano le isole minori della regione con condizioni per il viaggiatore particolarmente scomode. Basti pensare che per raggiungere l'isola di Lipari, partendo da Palermo, bisogna impiegare circa quattro ore e mezzo di viaggio in aliscafo.

Poiché il servizio è su richiesta, la tariffa della singola corsa è sicuramente onerosa, tale per cui questo modo di viaggiare è destinato ad un'utenza di alto reddito.

L'imporre tariffe agevolate per i residenti delle aree interessate al trasporto è sicuramente una strategia vincente per poter estendere il servizio di elitransporto ad un'utenza che possa utilizzare l'elicottero non per fini turistici.

3.5 Esempi di servizi elicotteristici in Italia e nel mondo

L'idea dell'utilizzo dell'elicottero come alternativa modale per gli spostamenti a breve raggio nasce dal fatto che il mezzo aereo ad ala fissa non risulta conveniente per spostamenti a distanze inferiori all'origine. L'elicottero, per l'estrema versatilità dei suoi usi e per la grande duttilità d'impiego si presta a colmare questo gap ponendosi come alternativa a modalità di trasporto tradizionali e certamente più lente.

Attualmente sono noti pochi servizi regolari di linea. In Europa infatti l'elicottero è utilizzato quasi esclusivamente per collegamenti con aree di difficile accessibilità o caratterizzate da una domanda di trasporto particolarmente faticosa.

Nel seguito si riporta una descrizione dei servizi commerciali passeggeri che si svolgono in Europa e nel mondo.

Gran Bretagna

I collegamenti con l'arcipelago Scilly sono cominciati nel 1964 e continuano tuttora con cadenza giornaliera (tranne la domenica) tra Penzance (Cornovaglia) e varie isole (St. Marys, Tresco, St. Martin's, tra le altre) con viaggi che mediamente durano 20 minuti.

Finlandia

La Compagnia Copterline gestisce voli orari nel Golfo di Finlandia tra Helsinki (eliporto Hemesaari di Helsinki) e Tallinn (eliporto di Linnahall) in Estonia tra le 7.00 e le 20.00 il sabato (9 voli di andata e ritorno) e tra le 10.00 e le 16.00 la domenica (7 voli). Gli elicotteri, che possono trasportare 12 passeggeri, impiegano 17' nel tragitto.

Francia

L'OYA Vendée Hélicoptères assicura, con voli regolari, un collegamento tra Beauvoir-sur-Mer (eliporto di Fromentine) e l'Ile d'Yeu 365 giorni all'anno.

Si tratta di cinque voli nell'arco dell'intera giornata. La tariffa è di circa € 88, ma sono previste tariffe sociali per gli abitanti dell'isola (30 €), con un contributo della regione della Vandea.

La società Héli Air Monaco gestisce dal 1976 un collegamento schedato tra Nizza (aeroporto) e Monaco ogni 30' in entrambi i sensi, offrendo anche la possibilità di raggiungere altre località turistiche come Courchevel, Saint Moritz, Chambery, Limone, etc. Vengono offerti circa 25 voli giornalieri sia da Nizza che da Monaco, con un volo di 7'.

Vengono applicate le seguenti tariffe:

Monaco – Nizza 99 €/pax;

Nizza – Monaco 115 € /pax.

Volo andata e ritorno 195 € /pax.

Norvegia

La compagnia Lufttransport ha firmato un accordo con il Dipartimento dei Trasporti locale per svolgere un collegamento con elicotteri tra Bodø e Vaerøy. Il servizio è iniziato l'1 agosto 2008 e prevede una scadenza per il 31 luglio 2011.

Hong Kong

La compagnia Heli Express (Sky Shuttle), nel 2006, ha servito circa 107.000 passeggeri su rotte di confine svolte con servizi elicotteristici (Hong Kong – Macao e Hong Kong – Shenzhen), sulla base di un accordo con la Hong Kong Air Services Division.

Quando Heli Express, nel 1991, iniziò i suoi collegamenti, trasportò 14.000 passeggeri con circa 54 voli al giorno.

In atto sulla rotta Hong Kong – Macao, il 50% dei passeggeri ha destinazione a Hong Kong, il 25% nel continente cinese e il resto sono residenti a Macao e all'estero.

Giappone

La Toho Air svolge dei servizi “helimuter” (helicopter commuter) tra le isole Izu e in particolare tra Aogashima, Hachijojima, Mikurajima, Oshima e Toshima, secondo un orario che consente di utilizzare i voli della Air Nippon per Hachijojima.

Groenlandia

Un servizio elicotteristico collega le isole Kulusuk da Tasiilaq. Il servizio è gestito dalla compagnia Air Greenland e permette di proseguire in aereo per Reykjavik.

Altri servizi con elicotteri consentono di raggiungere altri aeroporti della Groenlandia per successivi collegamenti con Copenaghen.

Canada

Dal 1986 Helijet ha trasformato in giornaliero il viaggio aereo per una escursione sulle bellezze naturali della Greater Vancouver e le isole di Vancouver.

Con terminali localizzati nel centro urbano, il Vancouver Harbour Heliport, l'aeroporto internazionale di Vancouver e il Victoria Harbour Heliport, Helijet offre voli schedulati giornalieri tra essi.

Spagna

La linea regolare Malaga – Ceuta è gestita con elicotteri dal Gruppo Inaer (Eli – Dolomiti in Italia, Helisul in Portogallo, Helicopter Chile nel Paese sudamericano).

In operazione sin dal 1996, collega la città di Ceuta (Africa spagnola) con l'Aeroporto di Málaga.

Su questa linea viaggiano ogni anno più di 20.000 passeggeri realizzandosi attorno ai 2.600 voli annuali. I voli hanno un tempo di percorrenza di circa 30'.

Le tariffe applicate alle tratte sono le seguenti:

Ceuta – Málaga Turista	134€/pax
Málaga – Ceuta Turista	134€/pax
Ceuta – Málaga Ocio	130€/pax
Málaga – Ceuta Ocio	130€/pax

Sono previste riduzioni per bambini e neonati con una riduzione del biglietto del 50% e del 90% rispettivamente.

Fiji

La compagnia Island Hoppers, che opera nelle isole Fiji da più di 30 anni, è certificata dalle autorità per l'aviazione civile delle Isole Fiji per le operazioni

con elicotteri. Ciò comporta un rigoroso utilizzo di programmi operativi di manutenzione, compreso un sistema di gestione della sicurezza ICAO compatibile. La compagnia fornisce trasferimenti tra l'aeroporto di Nadi, Denarau Island, la maggior parte delle isole Mamanuca, le Fiji ed i più grandi hotel dell'arcipelago (Sheraton, Sofitel, Hilton, etc.). Offre anche servizi di foto aeree, sorveglianza geologica, costruzione di linee dell'alta tensione, trasporto di carichi pesanti ed esplorazione.

Italia

Dall'01.03.1986, 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 e le Isole Tremiti (e viceversa), per il quale si prefigura un potenziamento ed un ampliamento verso altre destinazioni. 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.

Da inizio Giugno a fine Settembre 2009, il Lunedì, il Venerdì e la Domenica, Air Panarea promuove il volo garantito dall'aeroporto di Reggio verso le isole Eolie a partire da 199,00 € a passeggero in coincidenza con alcuni voli di linea.

Il costo è di 199,00 €/pax, one way, con destinazione: Vulcano, Lipari, Salina e Panarea. Il costo a persona aumenta di 100,00 € per Stromboli, con volo panoramico sulla sciara del fuoco, 240,00 €/pax per Filicudi, con volo panoramico su Pollara e 300,00 €/pax per Alicudi.

3.5 Scelta del mezzo

L'AW 139 è un elicottero medio biturbina di nuova generazione. Tra gli elicotteri biturbina di categoria media è quello che offre la cabina più spaziosa e la migliore riserva di potenza.

La macchina, lunga 16,66 m ed alta circa 5 m, ha un carico massimo utile di 2.730 Kg, con un peso massimo al decollo di 6,4 tons. Il sistema propulsivo si

basa su un rotore pentapala di nuova generazione, di diametro 13,8 m, mosso da due turbine Pratt & Whitney PT6C-67C per un totale di 3.350 HP all'albero.

Essenziale per la sicurezza è il FADEC (Full Authority Digital Engine Control), il sistema computerizzato che gestisce tutti i parametri di funzionamento di ogni turbina grazie ai dati raccolti dai sensori elettronici dei motori. Sia il rotore principale che quello quadripala di coda sono alti da terra, in modo da rendere più facili e sicure le operazioni di imbarco e sbarco passeggeri.

L'apparato propulsore è concepito per fornire una velocità di 167 nodi (309 km/h) anche nelle condizioni più impegnative di caldo e quota.

La caratteristica più importante di questo modello è proprio la capacità di volare in condizioni prima ritenute troppo gravose per gli elicotteri da trasporto passeggeri.

Particolare cura è stata posta nella diminuzione dei componenti soggetti a cambi frequenti, in modo da ottenere una riduzione dei costi operativi diretti ed una riduzione delle ore necessarie alle operazioni di manutenzione.

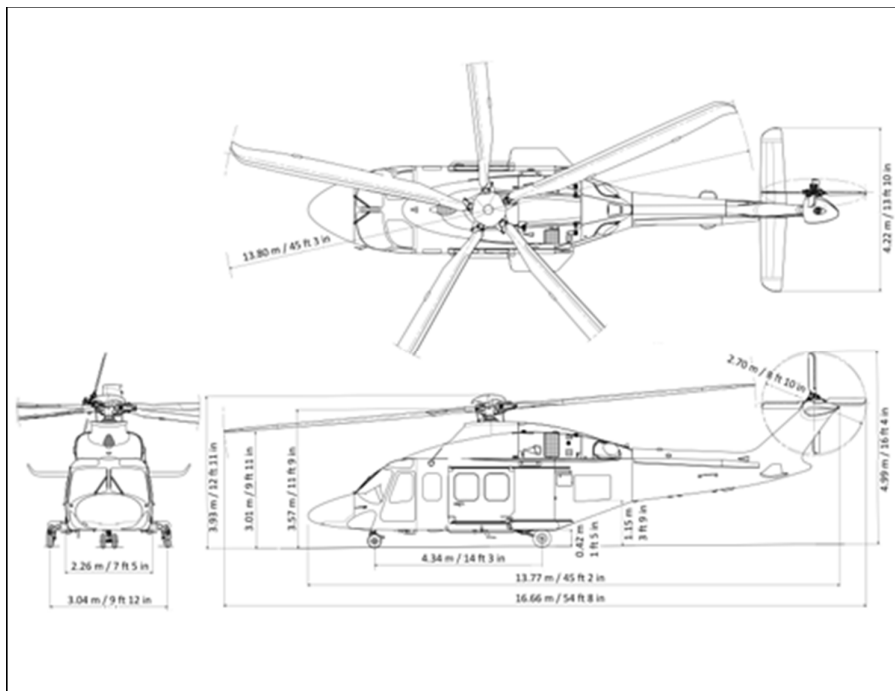


Figura 3.15: Schema AW 139

Il confort di viaggio è stato migliorato con l'insonorizzazione della cabina, e l'installazione di sei finestrini panoramici. Quest'ultima caratteristica può risultare un incentivo alla scelta, da parte dell'utenza, di questo mezzo di trasporto, poiché si può mettere in risalto, in fase di promozione del servizio, l'aspetto panoramico

del trasporto in elicottero.

La sicurezza del volo viene affidata alla propulsione a doppia turbina, che pone l'AW 139 fra gli elicotteri di Categoria A, cioè quelli che garantiscono un atterraggio forzato sicuro in caso di avaria al motore, e in Classe 1, che possono cioè compiere tutte le operazioni di volo (ovviamente con qualche limite operativo) anche con una sola turbina funzionante. A ciò si può aggiungere la sofisticatezza dell'autopilota digitale e la ridondanza dell'elettronica.

Viene prodotto in tre versioni: per esigenze mediche o di soccorso, per le forze dell'ordine, per il trasporto di passeggeri. In quest'ultima configurazione l'AW 139 può avere fino a 15 posti a sedere che vengono ridotti a seconda degli allestimenti di produzione.

Il bagagliaio, circa 3,5 mc è uno dei più ampi in questa classe di aeromobili e lo rende adatto più degli altri mezzi della stessa categoria per il trasporto passeggeri.

Grazie alle innovazioni introdotte in ogni aspetto progettuale, dall'aerodinamica al controllo digitalizzato dei motori, l'AW 139 garantisce quella flessibilità operativa che viene richiesta ad un moderno elicottero in grado di svolgere differenti tipologie di missione sia civili sia militari.

Le Tabelle da 3.12 a 3.15 mostrano, in maniera riepilogativa, le caratteristiche tecniche e le prestazioni del mezzo.

Tabella 3.12: Descrizione AW139

Descrizione	
Tipo	Elicottero medio SAR/utility
Equipaggio	1 o 2 piloti
Costruttore	AgustaWestland
Data primo volo	3 febbraio 2001
Data entrata in servizio	2003

Tabella 3.13: Dimensioni e pesi

Dimensioni e pesi	
Lunghezza	16,66 m
Altezza	4,99 m
Diametro rotore	13,80 m
Superficie rotore	150 m ²
Peso a vuoto	3720 kg
Peso massimo del carico utile	2680 kg
Peso massimo al decollo	6400 kg
Capacità dei serbatoi del carburante	1568 l
Capacità del serbatoio ausiliare	500 l

Tabella 3.14: Propulsione

Propulsione	
Motore	2 turbine Pratt & Whitney PT6C-67C
Potenza	2 x 1142 kW

Tabella 3.15: Prestazioni

Prestazioni	
VNE	310 km/h (167 kts)
Velocità di crociera	290 km/h (157 kts)
Rateo di salita	> 10,9 m/s
Hovering IGE (In Ground Effect)	4682 m
Hovering OGE (Out Ground Effect)	2478 m
Tangenza	6096 m
Range	1250 km
Endurance	5 h 56 min

CAPITOLO 4

ANALISI DEI COSTI DI UN SERVIZIO

ELICOTTERISTICO

4.1 Introduzione

Una compagnia di trasporto aereo, sia essa operante nel campo dei mezzi ad ala fissa che ad ala rotante, per svolgere la propria attività fa delle previsioni sui benefici economici e costi da sostenere, la cui determinazione può avvenire attraverso numerose modalità e tenendo conto di più variabili.

Quello che ci si propone di fare in questo capitolo è indicare la suddivisione dei costi esaminando la categoria di appartenenza ed esplicitando per ogni gruppo le voci di costo che ne fanno parte.

4.2 Costi operativi e costi non operativi

Una prima suddivisione dei costi delle compagnie aeree può essere effettuata tra costi operativi e costi non operativi, il cui scopo è quello di distinguere costi e ricavi derivanti direttamente dalle operazioni di trasporto aereo da quelli che non lo sono.

I costi operativi sono fondamentali per lo studio sulla fattibilità del servizio di trasporto elicotteristico di linea, in quanto forniscono un confronto diretto sui costi con gli altri mezzi di trasporto, in particolare, nel nostro caso, con i mezzi di terra e di mare.

4.2.1 Costi operativi

Sono così definiti i costi che emergono dalla gestione tipica del trasporto aereo e comprendono:

Operazioni di volo, che comprendono:

Costo del personale. Il costo del lavoro rientra fra i costi della produzione in un'impresa. Esso non comprende solo il salario corrisposto ai lavoratori, ma anche i contributi sociali obbligatori versati sia dall'imprenditore (per la maggior parte), sia dai lavoratori stessi;

Costi del carburante. Cambiano in rapporto alle rotte, alle caratteristiche dell'aereo, alle condizioni climatiche, alle direzioni e all'intensità dei venti. Significativo è il costo del carburante per un certo aereo o per certa rotta.

Spese aeroportuali e assistenza al volo. E' quanto le compagnie pagano per l'uso di piste, terminal ed altre attrezzature a terra. Comprendono in genere due elementi: un costo in rapporto al peso dell'aereo e un altro costo in rapporto al numero dei passeggeri che utilizzano lo scalo. Talvolta le compagnie pagano somme per l'assistenza al volo (dalle reti a terra) lungo certe rotte. Il parametro è in genere il peso dell'aereo. Questi costi non variano dunque in base al numero dei passeggeri, ma in base al tipo di aerei e alla rotta.

Assicurazioni sull'aereo. Sono in genere espresse in percentuale del prezzo d'acquisto. Variano in rapporto al grado di copertura. Subiscono oscillazioni nel tempo. Sono espresse in costo annuo.

Spese di leasing ed affitti. Il loro costo dipende dalle politiche adottate dalle compagnie aeree in materia di finanziamento dell'acquisto di aerei e attrezzature. Quelle che ricorrono poco al leasing hanno costi modesti in questa voce, ma alti costi per l'ammortamenti e viceversa.

Manutenzione. Si tratta dei costi fissi sostenuti per la manutenzione degli aerei sostenuti per le riparazioni e revisioni secondo gli standard delle autorità internazionali preposte al controllo dei voli.

Servizi ai passeggeri. Si tratta dei costi di assistenza ai passeggeri in volo (confort, sicurezza) e dei costi sostenuti allorché i voli sono interrotti (hotel per gli equipaggi), i costi di ristorazione e il costo di assicurazione dei passeggeri.

Servizi ai velivoli. Si tratta dei costi di rifornimento e degli altri servizi a terra per i velivoli (controlli, protezione, programmazione dei voli).

Servizi di traffico. Sono costi delle operazioni ai terminali: trasferimento bagagli e altri servizi forniti ai passeggeri, Comprendono i salari al personale che fornisce i servizi a terra, i costi delle attrezzature, il leasing di tali attrezzature, gli affitti. Le somme pagate (fees) per servizi acquistati da altre imprese

Servizi amministrativi.

Servizio prenotazione e vendite. Comprende le remunerazioni al personale delle biglietterie e le spese dei sistemi di prenotazione.

Comunicazione e pubblicità. Si tratta dei costi sostenuti per convincere i potenziali clienti a preferire una data compagnia aerea.

Spese generali ed amministrative. Spese che riguardano il complesso delle attività della compagnia aerea e spese sostenute per attività che contribuiscono a più di una singola funzione come la contabilità, acquisti, assistenza legale e altre attività di amministrazione che non sono direttamente imputabili ad una particolare funzione.

Ammortamento, comprende:

- costi dei velivoli, dei motori, delle parti componenti di entrambi e delle attrezzature di volo;
- costi delle attrezzature e degli immobili a terra (hangars, aeroporti);
- costi sostenuti per acquistare attività intangibili (marchi, avviamento, progettazioni).

4.2.2 Costi non operativi

Sono così definiti i costi che emergono dalla gestione finanziaria non strettamente legata al trasporto aereo e sono i seguenti:

- minusvalenze derivanti dalla vendita di velivoli, attrezzature a terra o altre proprietà (differenze tra i prezzi di vendita e i valori di bilancio);
- interessi pagati sui debiti di lungo termine; a volte le compagnie considerano come costi operativi gli interessi corrispondenti per finanziamenti destinati agli acquisti di aerei;
- perdite di cambio;
- perdite derivati dalla gestione di imprese facenti parte del gruppo, ma non attinenti al trasporto aereo (ad esempio la gestione degli hotel e dei resorts);
- i sussidi ottenuti dallo Stato o da altre organizzazioni pubbliche.

4.3 Costi diretti e costi indiretti

La distinzione tra costi diretti e costi indiretti è utile in particolare per prendere decisioni riguardanti la struttura della flotta.

4.3.1 Costi diretti

Sono definiti in questo modo i costi che variano a seconda del tipo di mezzo, sono definiti in vario modo. In genere, partendo dalle categorie di costi indicati da CAB sono considerati come somma dei costi riguardanti le operazioni di volo, manutenzione e ammortamento. Possono essere espressi con vari indici:

- Per miglia di volo;
- Per “*block hours*”: numero di ore in cui l’aereo è in volo in un giorno (motori accesi/motori spenti);
- Per posto-miglia disponibili: calcolato moltiplicando la capacità dell’aereo espressa in posti disponibili per le miglia di volo.

4.3.2 Costi indiretti

Sono definiti in questo modo i costi che non variano al cambio del mezzo, non variano con il volume di traffico e non variano nemmeno con il variare degli Available Seat Miles (ASM) e sono costituiti da:

- servizi ai passeggeri;
- servizi ai velivoli;
- servizi di traffico;
- servizi amministrativi;
- servizio prenotazione e vendite;
- comunicazione e pubblicità;
- spese generali ed amministrative.

4.3 Costi fissi e variabili

La distinzione tra i costi fissi e i costi variabili è relativa all'oggetto di determinazione dei costi

4.3.1 Costi fissi

Essi sono definiti come l'insieme dei costi il cui ammontare non varia nel breve periodo in rapporto all'effettuazione di in un volo o di più voli. Nel *breve termine*, avendo programmato (e reso noto ai potenziali utenti) una serie di voli, la compagnia non può cancellarli senza danno per la propria immagine. Di conseguenza il costo degli equipaggi ed i costi delle manutenzioni programmate sono fissi per quel certo periodo di tempo. Possono essere modificati soltanto con una successiva programmazione.

In genere le compagnie aeree cambiano i programmi 2-3 volte all'anno. Diversa è la situazione nel *lungo periodo*. La compagnia può decidere di vendere il mezzo. Può licenziare (sostenendo costi) o destinare ad altre attività gli equipaggi. Può cedere o chiudere i punti vendita. Di conseguenza questi costi nell'arco di 2-3 anni possono non essere più considerati fissi.

Le norme prevedono che in caso di trasporto pubblico, a mezzo elicottero, l'equipaggio debba essere composto da almeno due piloti. I valori del costo orario dell'equipaggio si ottengono sulla base del costo del lavoro considerando una capacità annua di circa 1600 ore, al netto di ferie, festività, periodi di riposo, ecc. Negli Stati Uniti d'America i salari medi dei piloti variano a seconda della regione in cui viene prestato servizio, a seconda del tipo di servizio (se pubblico o commerciale), e dal tipo di elicottero pilotato. Generalmente, per aeromobili multiturbina medio-pesanti i salari oscillano dai 55.000 \$ ai 120.000\$ annui.

Il calcolo dei costi finanziari è legato agli investimenti di base, quindi all'ammortamento dell'elicottero e alle spese del mantenimento del servizio. L'ammortamento è calcolato definendo: il costo iniziale dell'elicottero, il valore residuo al termine del periodo di ammortamento ed il periodo di ammortamento stesso. Il valore residuo medio generalmente è pari ad un terzo del valore iniziale mentre il periodo di ammortamento è normalmente di $7 \div 10$ anni. Il costo di un elicottero dipende principalmente da tre fattori:

- a. il proprio peso
- b. il peso del carico trasportabile
- c. il tipo di motorizzazione

Per quanto riguarda gli elicotteri medi/multiturbina il prezzo si attesta dai cinque ai dieci milioni di dollari, invece per quelli di categoria pesante, sempre multiturbina, non è inferiore a dieci milioni. Si può arrivare al caso dell' EH 101 dell'Agusta Westland che costa ventisette milioni. La Tabella 4.1 mostra i prezzi di alcuni elicotteri.

Tabella 4.16: Prezzo base di elicotteri medium e heavy multiturbina

Categoria	Modello	Prezzo (in M€)
Medium	AW 139	8
	Bell 412	5,8
	Eurocopter EC 155	7
	Sikorsky S – 76	7
Heavy	Agusta Westland EH 101	27
	Eurocopter AS 332 SP	12
	Eurocopter AS 330	12
	Eurocopter EC 225	13
	Sikorsky S – 70	9,5
	Sikorsky S- 92	13

Per quanto riguarda i costi finanziari derivanti dalla quota di assicurazioni, sono legati ai tipi di assicurazione che gravano sul mezzo, in particolare essi sono tre:

- i. assicurazione corpo: hanno il premio annuo variabile dal 5% all'8% del valore dell'elicottero;
- ii. assicurazione sulla responsabilità civile e sui passeggeri trasportati;
- iii. assicurazione per il personale navigante, comprendenti infortuni, perdita brevetti ecc.

L'assicurazione sulla responsabilità civile (R.C.) e sui passeggeri trasportati è obbligatoria in quanto prevista per legge, quella relativa al personale navigante è di norma prevista nei contratti di lavoro. L'assicurazione corpo non è obbligatoria tuttavia molte compagnie la stipulano in quanto è una garanzia contrattuale.

Le spese di gestione infine sono quelle indispensabili per il funzionamento dell'organizzazione tecnica e operativa dell'esercizio, quali servizi ai passeggeri, servizi amministrativi, comunicazione e pubblicità, affitto dei locali, i costi della certificazione ENAC, l'acquisto delle attrezzature, ecc.

In conclusione si può stimare che i costi fissi operativi ammontano circa al 30% dei costi variabili e si vanno a sommare a quest'ultimi per completare il quadro dei costi operativi del servizio di trasporto elicotteristico di linea.

4.3.2 Costi variabili

Essi sono definiti come dei costi che non si sostengono se un volo o una serie di voli sono cancellati. Si tratta dei costi riguardanti il carburante, le spese di hotels degli equipaggi e le spese per l'utilizzo degli aeroporti. Anche le spese di manutenzione diminuiscono se il mezzo non vola.

Se torniamo ora alla distinzione tra costi diretti e costi indiretti esaminata al punto precedente, possiamo osservare che mentre i primi (costi indiretti) restano fissi, i secondi (costi diretti) nel breve termine possono essere distinti in variabili e fissi. Sono variabili se dipendono dalle operazioni di uno specifico volo.

Secondo stime della Civil Aviation Authority posto uguale a 100 i costi di una compagnia aerea, il 58,5% è rappresentato dai costi diretti e il rimanente 41,5% da costi indiretti. I costi diretti a loro volta possono essere distinti in variabili (36,2%) e fissi (22,3%). In pratica oltre un terzo dei costi operativi totali non sono sostenuti nel caso in cui il volo o i voli non siano effettuati. Si tratta di una quota elevata che ha una forte ripercussione sulle politiche dei prezzi e sulla programmazione dei voli. E' evidente che cancellando un volo o una serie di voli possono essere realizzati consistenti economie di costo.

Tra quelle precedentemente citate, la spesa per il carburante è la più considerevole ed anche la più difficile da determinare a causa del continuo variare del prezzo del petrolio.

Ad esempio nel luglio 2008 un barile si attestava attorno ai 140 dollari, per passare ai 40 dollari nel gennaio 2009 ed arrivare attualmente a circa 70 dollari. Oltre a ciò si aggiunge il fatto che il consumo di carburante di un elicottero è legato al tipo di motore installato, al tipo di manovra che esegue il mezzo (se in salita, in discesa o volo livellato), alle condizioni generali di volo quindi quota, velocità, temperatura e le condizioni meteo.

Per tali ragioni il consumo di un elicottero viene presentato come volume di carburante bruciato per ogni ora di volo cioè il cosiddetto *consumo orario*, si tratta ovviamente di un valore medio, ma certamente abbastanza accurato per una stima generale. Nella Tabella 4.2 sono mostrati i consumi orari di alcuni elicotte-

ri, divisi per casa costruttrice, si fa notare che tutti gli elicotteri presentati sono della stessa categoria, quella medium-twin.

Tabella 4.17: Consumo orario dei principali elicotteri medium-twin

Azienda	Modello	Consumo (gallone/h)	Capacità passeggeri
Agusta Westland	AW 139	129	15
	AS 330 J	179	18
Eurocopter	AS 332 L1	160	20
	AS 365 N - 1	87	12
	EC 155	95	12
Bell	212	100	14
	412	110	14
	412 HP	110	14
Sikorsky	S – 76C+	90	14

Si noti come questi elicotteri abbiano un numero di capacità passeggeri abbastanza simile tra loro, esso va da 12 a 20. In particolare l'AS 332 L1, quello più capiente della lista, è una versione dell'AS 332 con la fusoliera allungata e con l'interno in stile aereo di linea, progettato proprio per uso civile nel trasporto passeggeri.

Il costo del carburante, come già detto, è variabile in quanto strettamente legato al prezzo del petrolio, e nel giro di pochi mesi è passato dai 6,15 \$ al gallone a 2,5 \$ al gallone. Se prendiamo un valore medio di 4,35 \$ al gallone, notiamo come la spesa sul carburante per un'ora di volo va dai 378,45 \$ dell'AS 365 N – 1 ai 778,65 \$ dell'AS 330 J. Se facciamo lo stesso calcolo per l'AW 139 troviamo una spesa di 561,15 \$/h. Abbiamo osservato solo questi tre elicotteri perché l'AS 365 N – 1 e l'AS 330 J sono rispettivamente quelli che consumano di meno e di più, fra gli elicotteri elencati in tabella, e l'AW 139 perché è quello che ci interessa maggiormente.

Quanto detto finora vale per il carburante, per i lubrificanti invece non si fa una stima vera e propria, ma si considera che le spese per i lubrificanti ammontino mediamente al 3,5% delle spese del carburante, indipendentemente dal modello di elicottero utilizzato. Quindi similmente come abbiamo fatto per il carburante calcoliamo che 13,25 \$ vengono spesi in un'ora di volo dell'AS 365 N – 1, mentre 27,25 \$/h per l'AS 330 J e 19,65 \$/h per l'AW 139.

L'ultima aliquota dei costi variabili comprende tutta la parte riguardante la manutenzione, tra cui includiamo il costo della manodopera. Secondo alcune stime l'importanza della manutenzione all'interno di una compagnia è rappresentata dal fatto che essa ha un peso del $20 \div 25\%$ (per gli aerei) nella gestione economica totale della compagnia stessa, ed è per questo che vengono attuate delle vere e proprie strategie per ottimizzare l'organizzazione della manutenzione in modo da mantenere il mezzo fermo il meno possibile. Stesso discorso si può fare in ambito elicotteristico.

Per quanto attiene alla manutenzione della cellula, possiamo individuare quattro categorie di interventi:

- ispezioni periodiche;
- revisioni;
- ricambi di componenti usurati;
- lavori non schedulati.

Le ispezioni periodiche sono di norma riportate nel manuale di manutenzione che viene fornito insieme all'aeromobile, esse comprendono:

- *ispezioni prevolo*, prima di ogni volo
- *ispezioni postvolo*, dopo un volo appena effettuato
- *controllo giornaliero*, ispezione effettuata durante la notte
- *controllo settimanale*, ispezione generale effettuata ogni sette giorni

Le revisioni comportano in generale per alcuni componenti la loro rimozione, il disassemblaggio, l'ispezione e se il componente si dovesse presentare in buono stato il suo riassettaggio, se invece non dovesse essere in buono stato, la sua sostituzione e la re installazione. Per alcuni componenti, quelli più critici, non è prevista la verifica del loro stato, ma direttamente la sostituzione, sempre secondo quanto riportato nel manuale di manutenzione e sulla base del numero di ore di volo ammontate. Normalmente i pezzi che devono essere sostituiti sono quelli maggiormente soggetti ad usura e quelli legati al rotore o al sistema di controllo, che subiscono carichi oscillanti e forti vibrazioni. Per concludere, i lavori non schedulati sono tutte quelle ispezioni e interventi non previsti nel manuale di

manutenzione, ma che si rendono necessarie per la completa funzionalità del mezzo.

Quanto detto finora vale per la cellula e per i sistemi di controllo e manovra, un discorso del tutto simile si può fare per ciò che riguarda la manutenzione del motore. Anche per esso sono previsti dei controlli periodici schedati e degli interventi sostitutivi agli impianti. Ciò che differenzia gli interventi sulla cellula dagli interventi sull'apparato propulsivo è il personale utilizzato, le ispezioni e le revisioni possono essere effettuate dal personale di manutenzione che si trova nell'eliporto (in eliporti di grandi dimensioni e sempre presente un'officina per interventi improvvisi) o dal personale tecnico della compagnia aerea; gli interventi al motore possono essere fatti invece solo da personale altamente specializzato, in particolari officine o direttamente alla casa costruttrice del motore. Il costo orario di questa manodopera è superiore a quella di base del 25%. Negli USA i salari medi di un meccanico specializzato per la riparazione di motori per elicottero oscillano da 36.000 \$ a 65.000\$, mentre per un capo manutenzione i salari vanno da 75.000\$ a 120.000\$ circa, le oscillazioni dipendono anche dalle zone degli USA prese in considerazione.

Al costo della manodopera va aggiunto il costo delle parti di ricambio utilizzate durante le manutenzioni e i pezzi periodicamente sostituiti per limiti di vita. Questo costo viene rateizzato per ora di volo e questa rateizzazione si basa sul costo totale che viene distribuito secondo due criteri:

- a) sulle ore di volo annue, qualora le parti utilizzate nella manutenzione, sia ordinaria sia straordinaria, fossero state pianificate nel programma di manutenzione approvato;
- b) sulla durata, in ore, del limite di vita della parte da sostituire alle scadenze fissate dal costruttore ed approvate dall'ENAC.

Sulla base dei due criteri appena elencati si definisce il *costo ricambi*, nel primo caso, e l'*accantonamento per ricambi* nel secondo.

La Tabella 4.3 mostra in maniera riassuntiva i costi variabili operativi all'ora di alcuni elicotteri, come la precedente tabella in questa sono stati inseriti solo elicotteri della categoria medio/multiturbina:

Tabella 4.18: Costi operativi variabili orari per alcuni modelli di elicotteri medium/twin

Azienda	Modello	Costo variabile \$/h
Agusta Westland	AW 139	1.685,93
	AS 365 N2	1.418,65
	AS 365 N3	1.458,91
Eurocopter	BK 117 B2	1.229,60
	BK 117 C1	1.218,11
	EC 145	1.189,32
	EC 155 B1	1.505,31
	EC 225	2.593,35
	S – 76 A	1.515,19
Sikorsky	S – 76 A+	1.611,04
	S – 76 A++	1.575,42
	S – 76 B	1.523,92
	S – 76 C	1.500,45
	S – 76 C+	1.461,83
	S – 76 C++	1.478,27

Si noti come esiste una grande differenza fra i vari costi degli elicotteri, si passa dai 1.189,32 \$/h dell'EC 145 dell'Eurocopter ai 2.593,35 \$/h dell'EC 225 sempre dell'Eurocopter, e questo benché appartengano tutti alla stessa categoria. Ciò è causato dal fatto che entrano in gioco, nel calcolo dei costi di manutenzione, molteplici fattori, ma anche perché spesso i vari elicotteri, pur essendo della stessa categoria, hanno dimensioni del rotore e della cellula parecchio diverse tra loro.

Facendo una semplice media dei valori riportati in Tabella 4.2, risulta che mediamente la spesa da affrontare per i costi operativi variabili è di circa 1500 \$/h. Si vuole far notare che il carburante è circa un terzo della spesa totale.

4.4 Costi del personale

Una delle voci di costo operativo abbiamo visto essere le operazioni di volo, di questa categoria fa parte il costo del personale che consiste delle spese sostenute per *un'attività manuale o intellettuale svolta dal lavoratore alle dipendenze del datore di lavoro o dell'imprenditore*.

Esso rappresenta in generale per le aziende di ogni tipo una delle voci di spesa tra le più importanti e significative peraltro presente, nella sua forma fissa, anche quando l'azienda incontra periodi di difficoltà.

Nel settore aereo il personale è da distinguere in piloti, assistenti di volo e personale di terra; infatti queste tre categorie di lavoratori hanno una contrattazione diversa nelle loro parti economiche. Nel particolare caso del servizio elicotteristico viene a mancare la figura dell'assistente di volo.

Un'attenta elaborazione del costo del personale (le variabili da prendere in considerazione, in funzione anche della continua evoluzione normativa, sono numerose e complesse nella loro valutazione) risulta estremamente importante al fine di non dover falsare il risultato aziendale. L'azienda che si accinge a predisporre (recuperando le necessarie informazioni) il budget del personale dovrà quindi effettuare un'attenta analisi degli elementi che compongono il costo del lavoro in funzione degli obiettivi, delle esigenze e delle strategie aziendali. Occorre, quindi, preliminarmente, che l'azienda:

- stabilisca il corretto organico tenendo conto delle opportunità (e delle regole) offerte dall'attuale legislazione in materia di flessibilità del lavoro, peraltro interessata da continue modifiche, e di incentivazioni all'occupazione;
- definisca le politiche retributive interne in funzione di quelle collettive;
- programmi la formazione (obbligatoria, facoltativa e funzionale all'adeguamento professionale dei propri dipendenti);
- esamini tutti gli elementi di costo che possono derivare dall'applicazione della contrattazione collettiva (conosciuti e previsti), dalle disposizioni legislative e dagli orientamenti giurisprudenziali;
- quantifichi eventuali costi aggiuntivi derivanti dal contenzioso in atto e/o prevedibile.

CAPITOLO 5

ANALISI DELLE PERFORMANCE DELL'ELICOTTERO

5.1 Introduzione

L'analisi delle performance dell'elicottero ha come compito quello di rispondere a più quesiti che ci si pongono:

- Qual è la massima quota di volo?
- Qual è la velocità massima?
- Qual è il suo range?
- Per quanto tempo può volare?

Per effettuare tale analisi bisogna collegare tra loro le informazioni necessarie su ciascuna parte dell'elicottero: le performance dei rotori, le performance del motore installato, le perdite di potenza, la resistenza verticale in hovering, l'interferenza tra il tail rotor e la fin e la resistenza parassita nel volo traslato.

Nella trattazione che segue verranno analizzati quattro regimi di volo: l'hovering, la salita secondo la verticale (Vertical), l'autorotazione e, infine, il volo traslato (Flight forward).

Particolare risalto sarà dato all'hovering in quanto tale regime di volo viene considerato come la prestazione base dell'elicottero e, come tale, rispetto a questo vengono caratterizzati tutti i regimi di volo (e le loro grandezze fisiche vengono paragonate a quelle dell'hovering). In pratica tale regime di volo è l'analogo del volo rettilineo uniforme orizzontale per il velivolo.

5.2 Hovering

L'hovering, o volo a punto fisso, è un regime di volo in cui l'elicottero genera una forza in grado di sostentarlo senza avere un moto di avanzamento in alcuna direzione. La forza che riusciamo a generare (spinta), diretta verso l'alto, è in grado quindi di sostenere il peso del mezzo ed è generata dal main rotor che accelera delle masse d'aria verso il basso.

La spinta in realtà non è pari al peso in quanto bisogna tenere conto del fatto che, per volare, l'elicottero deve vincere, oltre al peso, anche delle resistenze.

Per l'analisi di questo regime di volo dobbiamo fare, almeno in prima approssimazione, delle ipotesi, cioè:

- Struttura rigida
- Equilibrio dei momenti verificato
- Massa dell'elicottero costante

Tali ipotesi semplificative consentono di schematizzare l'elicottero come un punto materiale cui è collegato il rotore principale. Le forze sono considerate, per l'ipotesi di equilibrio dei momenti verificato, applicate al baricentro.

Per lo studio dell'hovering schematizzeremo l'elicottero come una lastra piana (semplificazione del rotore), nel baricentro della quale sono applicate tutte le forze agenti sull'aerogiro.

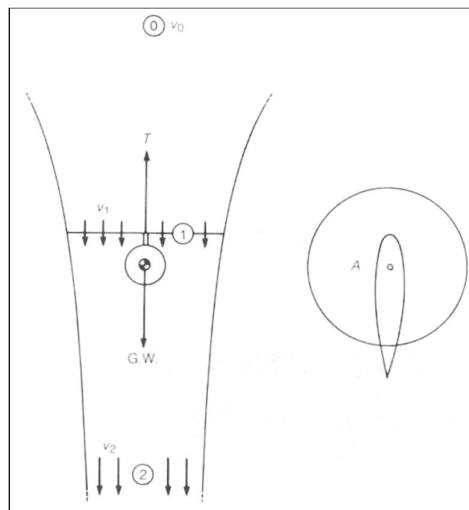


Figura 5.16

Viene inoltre considerata la teoria di Froude che considera il rotore come un'elica intubata.

Questo accelera la massa d'aria che lo attraversa cedendole parte della sua energia.

La velocità infinito a monte del rotore, ossia al di sopra dello stesso, è considerata nulla; nel momento in cui l'aria attraversa il rotore, subisce una variazione di

velocità (attraverso il disco rotorico) mediante le pale che sono in rotazione; mentre la velocità infinito a valle, ossia al di sotto del rotore, sarà diversa da quella misurata subito dopo lo stesso. Indichiamo con $V_0=0$ la velocità a monte del rotore, con V_1 la velocità all'attraversamento del disco rotorico e con V_2 la velocità a valle dello stesso.

Come noto, la spinta è data dal prodotto della portata di massa nell'unità di tempo nella sezione A per la variazione di velocità ΔV che imprimiamo nella direzione della verticale:

$$T = \dot{m}_1 \Delta V \quad (1)$$

dove $\dot{m}_1 = \rho V_1 A$ e $\Delta V = V_2 - V_0 = V_2$

La velocità V_1 è altresì indicata mediante V_i ad indicare che è la velocità indotta dal rotore, questa dipende dalla quota di volo (in quanto influenzata dalla densità della massa d'aria che viene accelerata verso il basso) e dal carico sul disco.

Sostituendo l'espressione di $\dot{m}_1$ e ΔV nella (1) otteniamo:

$$T = \rho V_1 A V_2 \quad (2)$$

Dobbiamo però ricavare il valore di V_1 e di V_2 ; per far ciò consideriamo la variazione di energia cinetica $\dot{E}_2$ impressa alla massa la quale, vista l'assenza di pozzi o sorgenti all'interno del tubo di flusso, deve coincidere con l'energia $\dot{E}_1$ dissipata dal rotore principale che genera la spinta:

$$\begin{aligned} \dot{E}_1 &= T V_1 = \rho V_1^2 A V_2 \\ \dot{E}_2 &= \frac{1}{2} \dot{m}_2 (\Delta V)^2 = \frac{1}{2} \dot{m}_2 V_2^2 \\ \dot{E}_1 &= \dot{E}_2 \quad (3) \end{aligned}$$

Vista l'assenza di pozzi o sorgenti, devono essere uguali anche le due portate di massa; avremo quindi:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \rho V_1 A$$

Sostituendo nella (3) otteniamo:

$$\rho V_1^2 A V_2 = \frac{1}{2} \rho V_1 A V_2^2$$

$$V_2 = 2V_1$$

Possiamo, a questo punto, ricavare l'espressione analitica della velocità indotta:

$$T = \rho V_1 A V_2 = 2 \rho V_1^2 A \Rightarrow V_1 = \sqrt{\frac{T/A}{2\rho}} \quad (4)$$

La quantità a numeratore dell'espressione della velocità indotta prende il nome di DISC LOADING (D.L.) ed è l'analogo del carico alare per il velivolo.

Dalla relazione trovata vediamo chiaramente la dipendenza della velocità indotta sia dal disc loading sia dalla densità e quindi dalla quota di volo.

I valori del disc loading e della V_2 per gli elicotteri esistenti sono, rispettivamente, pari a $4 \div 12 lb/ft^2$ e $35 \div 48 knots$.

Dalla relazione (4) è evidente che quanto più è elevato il disc loading, tanto più elevate sono le velocità V_1 e V_2 .

E' come se l'elicottero, al contrario di quanto accadeva per il velivolo, inducesse grandi accelerazioni a piccole masse d'aria. Questo per l'elicottero in hovering può essere un problema.

Se l'elicottero è ad una quota elevata non si hanno problemi, ma se è ad una quota modesta si possono verificare degli inconvenienti: se il suolo è rigido (cioè non subisce variazioni a seguito dell'impatto della massa d'aria alla velocità V_2) si verifica l'effetto suolo cioè la massa d'aria risale riducendo la velocità V_1 e quindi, come vedremo in seguito, si hanno resistenze ridotte; se, invece, il suolo non è rigido (ad esempio acqua o sabbia), l'impatto della massa d'aria provoca il sollevamento di una fitta nebbia che può provocare problemi di visibilità o, ben più gravi, ai motori.

Un ulteriore inconveniente dovuto alla presenza della V_2 dipende dal fatto che la cellula dell'elicottero si trova al di sotto del rotore e quindi viene investita da questa velocità generando una resistenza che dovrà essere vinta dalla spinta.

Un ennesimo problema è dovuto al fatto che la sezione del tubo di flusso passa dalla sezione A alla sezione A_2 in una distanza pari a circa $\frac{1}{4}$ del raggio del

rotore. Il rapporto di contrazione è quindi elevato: in solo $\frac{1}{4}$ del raggio la velocità raddoppia.

La distanza tra le due sezioni del tubo di flusso comporta che tutta la cellula è all'interno dello stesso e zone della cellula stessa, essendo fuori dal tubo, non sono investite dalla velocità V_2 .

L'espressione della resistenza è data da:

$$D_v = \frac{1}{2} \rho V_2^2 S c_D \quad (5)$$

dove S è la proiezione sull'orizzontale della superficie investita dal flusso.

In particolare si nota come D_v dipenda dal disc loading in quanto, essendo $V_2=2V_1$, dalla (4) ricaviamo:

$$V_2 = 2 \sqrt{\frac{D.L.}{2\rho}} \Rightarrow \frac{1}{2} \rho V_2^2 = D.L.$$

Quindi la pressione dinamica è uguale al disc loading. A seguito di quanto ricavato, la (5) può essere scritta come:

$$D_v = S c_D (D.L.)$$

Questa è la quantità che, oltre al peso, deve essere vinta dalla spinta. Avremo quindi la seguente espressione della spinta in hovering:

$$T_H = G.W. + D_v = \left(1 + \frac{D_v}{G.W.}\right) \cdot G.W. \quad (6)$$

Abbiamo così corretto l'errore che abbiamo inizialmente commesso ipotizzando la spinta uguale al peso. L'entità dell'errore era tutt'altro che trascurabile in quanto la superficie S può essere dello stesso ordine di grandezza della superficie A e comunque il coefficiente di resistenza c_D non è un numero piccolo.

Se dividiamo la spinta così ottenuta per il peso otteniamo la SPINTA SPECIFICA che è, nel caso in esame, maggiore di uno:

$$\frac{T_H}{G.W.} = 1 + \frac{D_v}{G.W.}$$

Questa è una ulteriore differenza tra elicotteri e velivoli in quanto soltanto i VTOL hanno spinte specifiche superiori all'unità, tutti i rimanenti velivoli hanno spinte specifiche inferiori.

Possiamo a questo punto calcolare la minima potenza richiesta o potenza ideale richiesta (P_i) affinché il rotore generi la spinta sufficiente a stare in hover. Questa è certamente inferiore alla potenza necessaria (P_n) in quanto per il calcolo della potenza necessaria bisogna considerare anche la resistenza che le pale incontrano nel loro moto di rotazione.

La potenza ideale richiesta è data dal prodotto tra la spinta precedentemente calcolata e la velocità indotta:

$$P_i = T_H V_i$$

Tale potenza è quella richiesta da un rotore considerato idealmente come un disco attuatore senza tener conto della resistenza delle pale che realmente lo costituiscono.

Il rapporto tra la potenza ideale e la potenza necessaria prende il nome di FATTORE DI MERITO (Figure of Merit, F.M.). Tale rapporto, nella realtà, assume valori compresi tra 0.75 e 0.80.

In prima approssimazione possiamo esprimere la potenza necessaria come il rapporto tra la potenza indotta ed il fattore di merito:

$$P_n = \frac{P_i}{F.M.} = \frac{T_H V_i}{F.M.} = \frac{T_H \sqrt{\frac{D.L.}{2\rho}}}{F.M.}$$

Grandezza fondamentale, negli elicotteri, è, inoltre, il rapporto tra la spinta e la potenza necessaria che prende il nome di POWER LOADING (P.L.):

$$P.L. = \frac{T_H}{P_n} = \frac{F.M.}{\sqrt{\frac{D.L.}{2\rho}}}$$

Diagrammando il power loading al variare del disc loading per fattore di merito e per densità costante, otteniamo un andamento sempre decrescente (iperbolico). Inoltre la curva, al crescere del fattore di merito, trasla verso l'alto. Questo significa che, a parità di disc loading, aumentando il fattore di merito, si ha un aumento del power loading. L'andamento del power loading, per un elicottero preso ad esempio, è il seguente:

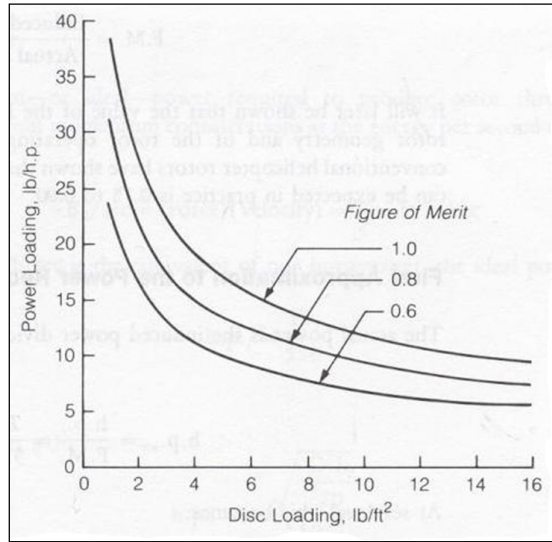


Figura 5.17

Dall'espressione del power loading possiamo notare che le caratteristiche costruttive dell'elicottero e le caratteristiche del mezzo entro il quale si muove, influenzano sulle potenze da installare a bordo in quanto la potenza disponibile deve essere almeno pari alla potenza necessaria.

Questa è la dimostrazione che avere alti disc loading è conveniente in quanto a questi corrispondono bassi power loading e ciò implica la possibilità, a parità di prestazioni, di installare a bordo motori di potenze inferiori con conseguente guadagno in termini di peso.

Il power loading ha, come è evidente dalla sua espressione analitica, una dipendenza anche dalla quota. Tale parametro infatti cresce al crescere della densità quindi avremo massimo power loading a quota zero. Data la definizione di power loading, questo significa, altresì, che alle quote più basse la potenza necessaria è più piccola e, di conseguenza, si richiederanno potenze disponibili ridotte.

La potenza necessaria è calcolabile senza ricorrere all'ausilio del fattore di merito, per far ciò bisogna dapprima calcolare la portanza e la resistenza generate da ciascuna pala.

Per un tratto di pala, la portanza generata è data da:

$$\Delta L = \frac{1}{2} \rho V^2 c_l \Delta r \quad (7)$$

dove $V^2 = (\Omega r)^2$ con Ω velocità angolare di rotazione e r ascissa sulla pala

$$c_l = c_{l_\alpha} \alpha \text{ con } \alpha \text{ espresso in radianti}$$

$\alpha = \vartheta - \alpha_i$ con ϑ calettamento del profilo nella sezione considerata rispetto al vento relativo che lo investe (incidenza geometrica) e $\alpha_i = \arctg \frac{V_i}{\Omega r} \cong \frac{V_i}{\Omega r}$

ϑ e α_i possono essere espressi in funzione dei loro valori al tip della pala e

cioè: $\vartheta = \frac{\vartheta_r}{r/R}$ e $\alpha_i = \frac{\alpha_{i_r}}{r/R}$.

Sostituendo tali valori nella relazione (7) otteniamo:

$$\Delta L = \frac{1}{2} \rho (\Omega r)^2 c_{l_\alpha} \left(\frac{\vartheta_r - \alpha_{i_r}}{r/R} \right) c \Delta r$$

Integrando sulla lunghezza della pala otteniamo la portanza totale della singola pala:

$$L = \frac{1}{2} \rho (\Omega R)^2 c_{l_\alpha} \left(\frac{\vartheta_r - \alpha_{i_r}}{2} \right) c R \quad (8)$$

La spinta che fornisce il disco rotorico è facilmente calcolabile dalla relazione precedente in quanto basta moltiplicare la portanza così calcolata per il numero totale di pale n :

$$T = nL \quad (9)$$

La spinta totale dipende quindi dalla quota di volo, dalla velocità di rotazione del rotore e dalle caratteristiche costruttive del rotore (svergolamento, raggio, legge di variazione della corda, tipo di profilo scelto (c_{l_α})).

Dobbiamo considerare che stiamo analizzando un'ala rotante quindi, oltre alla portanza, abbiamo una coppia e perciò dobbiamo tener conto della potenza necessaria per tenere in rotazione le pale.

Consideriamo una generica stazione sulla pala, la potenza necessaria a metterla in rotazione è data da:

$$\Delta P = \Delta Q \cdot \Omega \quad (10)$$

dove ΔQ è la coppia.

ΔQ è pari alla resistenza sull'elemento di pala per la distanza dello stesso dal mozzo.

Come nel caso del velivolo, la resistenza si compone di due parti: la resi-

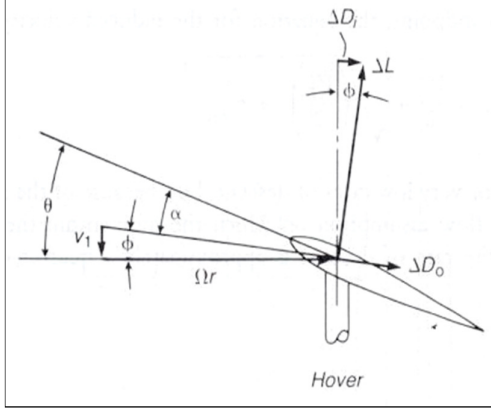


Figura 5.18

stenza di profilo e la resistenza indotta. La portanza è infatti ortogonale al vento relativo (dato dalla composizione di Ωr e V_i) e quindi è inclinata indietro di un angolo α_i (incidenza indotta) rispetto alla verticale; da questo deriva che si ha una componente orizzontale che si oppone al moto data da:

$$\Delta D_i = \Delta L \sin \alpha_i \cong \Delta L \cdot \alpha_i \quad (11)$$

La coppia può quindi essere scritta come:

$$\Delta Q = r(\Delta D_i + \Delta D_0) = r(\Delta L \cdot \alpha_i + \Delta D_0) \quad (12)$$

dove ΔD_0 è pari a:

$$\Delta D_0 = \frac{1}{2} \rho V^2 c_{d_0} c \Delta r = \frac{1}{2} \rho (\Omega r)^2 c_{d_0} c \Delta r \quad (13)$$

Possiamo quindi scrivere l'espressione della coppia in funzione al raggio:

$$\Delta Q = r \cdot \left[\frac{1}{2} \rho \Omega^2 r^2 c_{l_\alpha} (\vartheta_T - \alpha_{i_r}) \frac{R}{r} c \alpha_i \Delta r + \frac{1}{2} \rho \Omega^2 r^2 c_{d_0} c \Delta r \right] \quad (14)$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta r} = r \cdot \left[\frac{1}{2} \rho \Omega^2 R c_{l_\alpha} (\vartheta_T - \alpha_{i_r}) r c \left(\frac{R}{r} \alpha_T \right) + \frac{1}{2} \rho \Omega^2 r^2 c_{d_0} c \right]$$

Integrando lungo il raggio del rotore e moltiplicando per il numero di pale otteniamo la coppia dell'interno rotore:

$$Q = n \frac{1}{2} \rho \Omega^2 R^2 c R \left[c_{l_\alpha} \frac{\vartheta_T - \alpha_{i_r}}{2} \alpha_{i_r} + \frac{c_{d_0}}{4} \right] R \quad (15)$$

Possiamo vedere come la coppia, così come la spinta, dipende dalle caratteristiche del rotore, dalla velocità di rotazione e dalla quota.

Adimensionalizzando la coppia abbiamo:

$$c_Q = \frac{\sigma}{2} \left[c_{L_a} \frac{\vartheta_T - \alpha_{i_r}}{2} \alpha_{i_r} + \frac{c_{d_0}}{4} \right] = c_T \sqrt{\frac{c_T}{2} + \frac{c_{d_0} \sigma}{8}} \quad (16)$$

Nella relazione precedente abbiamo introdotto il RAPPORTO DI SOLIDITÀ (σ) definito come il rapporto tra l'area totale delle pale e l'area del disco rotorico:

$$\sigma = \frac{A_b}{A} = \frac{n \cdot \bar{c}}{\pi R}$$

La coppia può quindi essere considerata come la somma di due fattori: il primo prende il nome di coppia indotta ed il secondo di coppia passiva o di profilo.

Dato che la potenza è il prodotto tra la coppia e la velocità angolare di rotazione del rotore, di conseguenza possiamo distinguere una potenza indotta ed una potenza di profilo. La prima dipende dalla spinta che si sta generando, la seconda dalle caratteristiche del rotore (aerodinamica e geometria).

Se, alla luce di quanto detto, calcoliamo il fattore di merito, abbiamo:

$$F.M. = \frac{c_{P_i}}{c_P} = \frac{c_T \sqrt{\frac{c_T}{2}}}{c_P} = \sqrt{2} \frac{\left(\frac{c_T}{\sigma} \right)^{\frac{3}{2}}}{\left(\frac{c_Q}{\sigma} \right)}$$

Il fattore di merito, quindi, dipende dal coefficiente di spinta che, a sua volta, dipende dalla condizione di volo, e dal coefficiente di coppia.

Possiamo scrivere il fattore di merito considerando la (16) e avere:

$$F.M. = \frac{c_T \sqrt{\frac{c_T}{2}}}{c_T \sqrt{\frac{c_T}{2} + \frac{c_{d_0} \sigma}{8}}} = \sqrt{2} \frac{\left(\frac{c_T}{\sigma} \right)^{\frac{3}{2}}}{c_T \sqrt{\frac{c_T}{2} + \frac{c_{d_0} \sigma}{8}}}$$

Deduciamo che il fattore di merito è massimo quando $\left(c_T/\sigma\right)^{\frac{3}{2}}$ è massimo. Questo rende il fattore di merito simile all'indice di potenza del velivolo quindi, da questo punto di vista, l'elicottero in hovering è simile all'aereo.

Abbiamo così caratterizzato il moto dell'elicottero in hovering ma abbiamo fatto alcune ipotesi semplificative che possono portare ad una valutazione non veritiera delle performance.

Tali ipotesi sono:

Superficie della pala estesa dal mozzo al tip

Velocità indotta costante

Pale con rigidità torsionale infinita

Elicottero lontano dal suolo.

Adesso procediamo alla rimozione delle suddette ipotesi e vediamo come mutano le considerazioni fatte finora.

Cominciamo con il rimuovere l'ipotesi di pala estesa dal mozzo al tip.

Ipotizzando la pala estesa dal mozzo al tip abbiamo commesso due errori: il primo è di avere attribuito alla parte di pala vicino al mozzo una superficie e quindi averla considerata portante; il secondo è dovuto al fatto di aver considerato la pala come un'ala infinita ed a corda costante ipotizzando che i profili d'estremità, essendo dotati di una velocità circonferenziale più elevata, generino portanze più elevate. In realtà questo non accade in quanto la pala, essendo finita, al tip ha una portanza che tende a zero a causa del fatto che i filetti fluidi del ventre risalgono sul dorso modificando il flusso.

Possiamo comunque affermare che i due errori fatti si compensano e quindi i dati ottenuti possono ritenersi corretti.

Di seguito riportiamo l'andamento della portanza sulla pala confrontando i valori reali con quelli teorici:

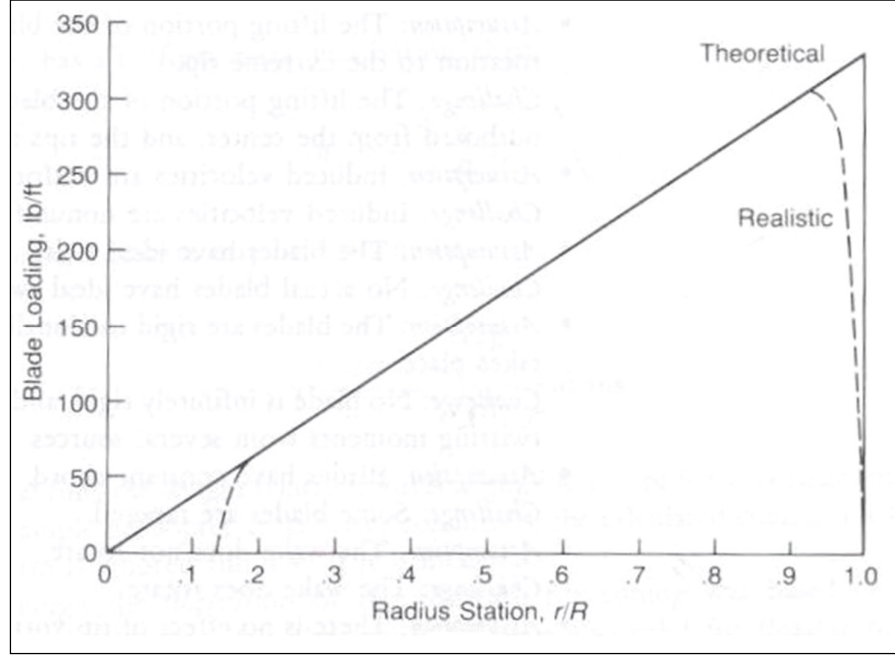


Figura 5.19

Rimuoviamo adesso l'ipotesi che considerava la velocità indotta costante in tutto il disco rotorico. Se non avessimo fatto tale ipotesi avremmo dovuto calcolare la legge di variazione della velocità lungo la pala. Poiché, come abbiamo visto in precedenza, la spinta è legata alla V_1 , anche la spinta varierebbe con essa. Infatti, dalle due espressioni della spinta per un generico elemento di pala posto a distanza r abbiamo:

$$\Delta T = 2\rho V_1^2 A = 4\rho V_1^2 \pi r \Delta r \quad (17)$$

$$\Delta T = n \frac{1}{2} \rho (\Omega r)^2 c_{l_\alpha} \left(\vartheta - \frac{V_1}{\Omega r} \right) c \Delta r \quad (18)$$

Eguagliando le due formule e risolvendo rispetto a V_1 otteniamo la legge di variazione della velocità indotta lungo la pala:

$$V_1 = \frac{-\frac{\Omega}{2} n c c_{l_\alpha} + \sqrt{\left(\frac{\Omega}{2} n c c_{l_\alpha} \right)^2 + 8 \pi \Omega^2 r c_{l_\alpha} \vartheta c}}{8 \pi} \quad (19)$$

Osserviamo come tale velocità dipenda, oltre dalle caratteristiche aerodinamiche del profilo, anche dal calettamento dato alla pala per cui, se la pala non

è svergolata ($\vartheta = \text{costante}$), la V_1 assume valori minori in prossimità del mozzo e maggiori in prossimità del tip; se, invece, la pala è svergolata, la V_1 è pressoché costante e questo perché essa è legata alla portanza e lo svergolamento è dato alla pala sostanzialmente per avere una distribuzione di portanza quanto più uniforme possibile. Quindi, nel caso di pala svergolata (e cioè nella maggioranza dei casi) non si commette un grave errore considerando la V_1 costante.

Analizzando la terza ipotesi notiamo che quando abbiamo calcolato ϑ_T e α_{i_T} avevamo supposto che la pala poteva soltanto salire e quindi abbiamo considerato, implicitamente, una rigidità torsionale infinita della pala per cui gli angoli ϑ si sono fatti dipendere esclusivamente dall'inclinazione data. Poiché, però, sezione per sezione, il centro di taglio ed il centro di pressione non coincidono, nasce un momento torcente che tende a ridurre l'incidenza.

A causa della struttura della pala stessa (elevato allungamento e corda di dimensioni modeste) la distanza tra centro di pressione e centro di taglio è modesta e quindi i momenti trascurati non comportano grandi errori computazionali.

Rimuoviamo adesso l'ultima ipotesi cioè che l'elicottero si trovi lontano dal suolo.

Così come un velivolo, l'elicottero in volo in prossimità del suolo richiede meno portanza di quanta non ne richieda in volo lontano dallo stesso.

Lontano dal suolo la velocità indotta dal rotore è sostanzialmente una velocità verticale discendente e, come accennato precedentemente, fa inclinare a causa di ciò la portanza sulla singola pala e, di conseguenza, la spinta complessiva del rotore, e quindi l'incidenza reale, risulta inferiore di quella teorica. La V_1 è responsabile dell'incidenza indotta.

Nella seguente figura sono riportati graficamente gli effetti dell'effetto suolo sugli elementi delle pale.

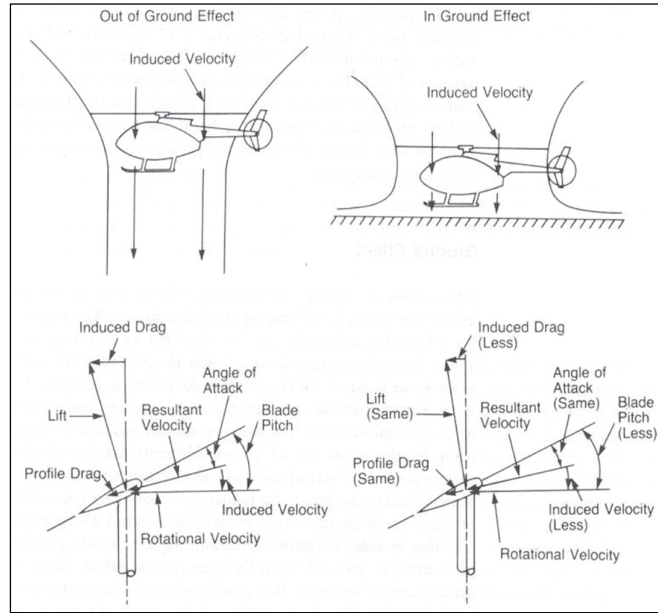


Figura 5.20

denza indotta è minore nel caso di elicotteri in effetto suolo come del resto era facilmente prevedibile vista la relazione tra α_i e V_i precedentemente riportata:

$$\alpha_i = \arctg \frac{V_i}{\Omega r} \cong \frac{V_i}{\Omega r}$$

Alla velocità indotta è legata, oltre alla resistenza verticale, anche la resistenza indotta; una riduzione di tale velocità produce quindi una riduzione della resistenza. Questo comporta un particolare vantaggio per l'elicottero in hovering in quanto, essendo minore la resistenza, sarà minore anche la spinta necessaria alla sustentazione dell'elicottero e, di conseguenza, anche la potenza necessaria.

Possiamo altresì assegnare un calettamento inferiore alla pala in quanto α_i è più piccolo e quindi potremo generare la stessa spinta con un angolo ϑ inferiore rispetto a quello calcolato nell'ipotesi di hovering lontano dal suolo.

Consideriamo a questo punto la spinta costante e calcoliamo la variazione di potenza tra hovering in effetto suolo (IGE) e fuori dall'effetto suolo (OGE):

$$P_{OGE} = P_{0_{OGE}} + TV_{1_{OGE}}$$

In presenza del suolo la velocità indotta arriva al suolo, lo contorna e risale. Abbiamo quindi una velocità ascendente che si compone con la velocità indotta, riducendola.

Come è facilmente osservabile dalla figura, l'angolo di inci-

$$P_{IGE} = P_{0_{IGE}} + TV_{1_{IGE}} \left(\frac{V_{1_{IGE}}}{V_{1_{OGE}}} \right)$$

$$\Delta P = P_{OGE} - P_{IGE} = TV_{1_{OGE}} \left[1 - \frac{V_{1_{IGE}}}{V_{1_{OGE}}} \right] \quad (20)$$

Calcolando il coefficiente di potenza (e quindi quello della coppia) abbiamo:

$$\frac{\Delta c_P}{\sigma} = \frac{\Delta c_Q}{\sigma} = - \left(\frac{c_T}{\sigma} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{\sigma}{2}} \left[1 - \frac{V_{1_{IGE}}}{V_{1_{OGE}}} \right] \quad (21)$$

L'andamento di $\frac{c_Q}{\sigma}$ in funzione di $\left(\frac{c_T}{\sigma} \right)^{\frac{3}{2}}$ è il seguente:

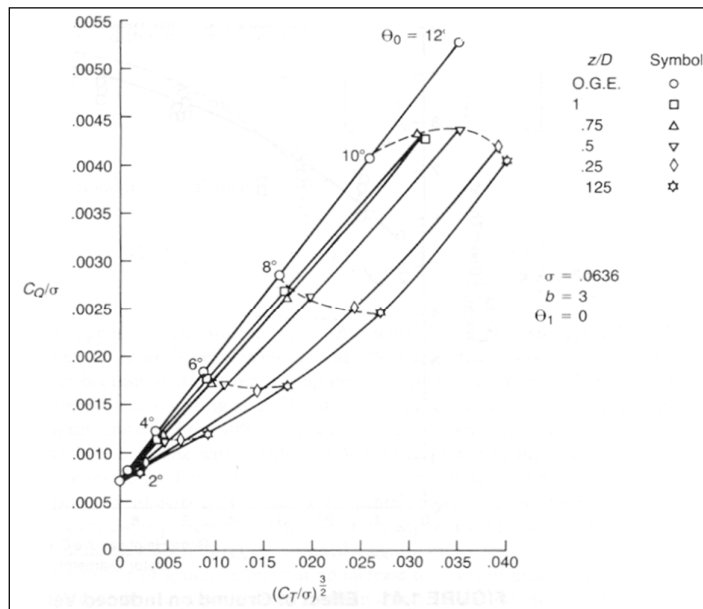


Figura 5.21

L'unica incognita di questa relazione è il rapporto tra le velocità indotte.

L'andamento di tale rapporto in funzione della distanza dal suolo (adimensionalizzata rispetto al diametro del rotore) è il seguente:

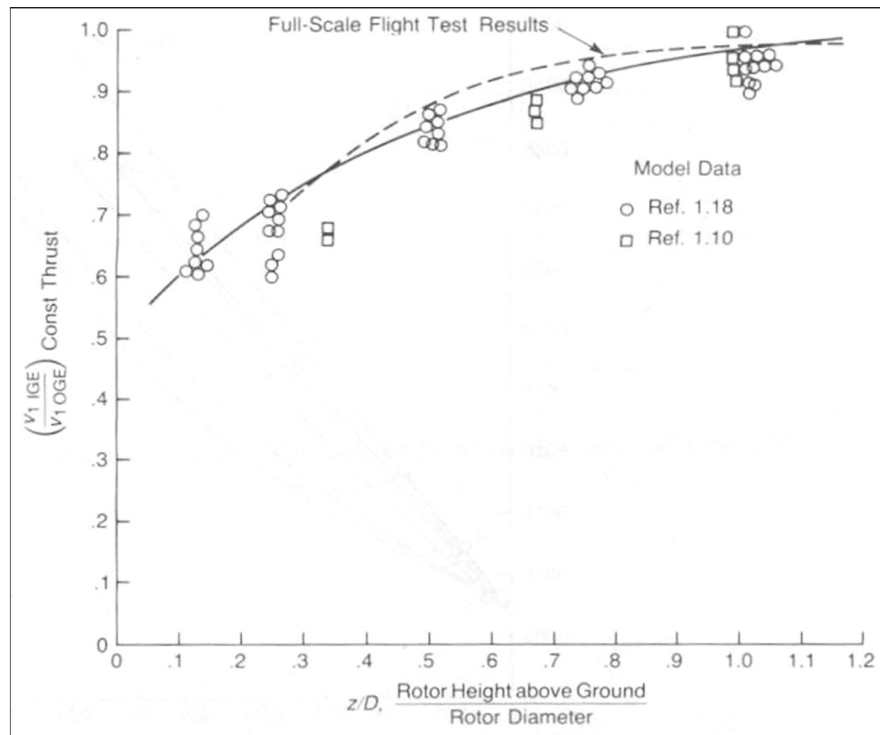


Figura 5.22

Come è facile notare, sperimentalmente si è arrivati alla conclusione che l'elicottero può considerarsi al di fuori dell'effetto suolo quando il rapporto $\frac{z}{D}$ è pari a 1.2; valore in corrispondenza al quale il rapporto tra le velocità diviene unitario.

Questo ragionamento è però applicato al rotore isolato in quanto abbiamo trascurato i carichi che la V_1 genera sulla cellula al di sotto del rotore. C'è da dire tuttavia che, a rigore, non essendo la cellula dell'elicottero un corpo aerodinamicamente perfetto, la riduzione di resistenza dovuta alla riduzione di velocità indotta non è considerevole.

La seguente relazione tiene conto della riduzione della resistenza verticale dovuta all'effetto suolo:

$$\left(\frac{\Delta c_p}{\sigma}\right)_{W=CONST} = \left(\frac{\Delta c_Q}{\sigma}\right)_{W=CONST} = -\left(\frac{c_T}{\sigma}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{\sigma}{2}} \left[1 - \left(1 - \frac{D_V}{G.W.}\right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{V_{IGE}}{V_{IGE}}\right) \right]_{T=CONST} \quad (22)$$

Considerando le spinte in effetto suolo e fuori dall'effetto suolo, a potenza costante, ed effettuandone il rapporto, abbiamo:

$$\frac{T_{IGE}}{T_{OGE}} \bigg|_{P=CONST} = \frac{1}{\frac{V_{IGE}}{V_{IGE}} \bigg|_{P=CONST}} \quad (23)$$

La relazione sopra ottenuta è stata calcolata nel caso di potenza passiva costante ipotizzando che il c_{D_0} , in prossimità del suolo, non subisca variazioni. Questo in realtà non è esatto in quanto, quando l'elicottero si trova in prossimità del suolo, il c_{D_0} varia.

Per avere un'indicazione della riduzione della velocità indotta possiamo dire che, per un elicottero normale ad una distanza adimensionale di 0.6 si ha una riduzione della velocità indotta di $\frac{1}{4}$ rispetto alla stessa fuori effetto suolo. Abbiamo dunque a che fare con numeri abbastanza significativi.

Se il suolo, però, non è rigido, gli effetti benefici sono ridotti ma non sempre presenti. Il procedimento seguito per il calcolo della V_1 , tiene conto dell'ipotesi di velocità indotta costante lungo tutto il rotore. Per effettuare un calcolo più preciso bisognerebbe calcolare la velocità indotta in corrispondenza ad ogni stazione del rotore e quindi tracciare un andamento della velocità in funzione della posizione sul rotore.

Abbiamo, a questo punto, caratterizzato le potenze necessarie affinché l'elicottero possa mantenersi in hovering; dobbiamo calcolare la potenza che il motore è in grado di fornire. La potenza disponibile nell'elicottero è diversa dalla potenza che il motore fornisce in quanto bisogna considerare le perdite dovute al fatto che il motore fornisce energia a tutto ciò che è installato sull'elicottero.

Una prima tipologia di perdita è dovuta alla sola installazione del motore a bordo dell'elicottero. Il motore infatti, di norma, non sviluppa a stessa potenza

dei test effettuati dal produttore. Di seguito riportiamo alcuni tipi di perdita ed il loro possibili effetti di riduzione della potenza:

- Perdita di pressione in ingresso dovuta all'attrito tra i condotti $1 \div 4\%$
- Perdita di pressione in ingresso dovuta alla separazione di particelle $3 \div 10\%$
- Pressione di ritorno gas combusti dovuta all'attrito tra i condotti $0,5 \div 2\%$
- Pressione di ritorno gas combusti dovuta ad un soppressore infrarosso $3 \div 15\%$
- Salita temperatura in ingresso dovuta alla reingestione dei gas combusti $1 \div 4^\circ\text{F}$
- Perdita del compressore $1 \div 20\%$

Le perdite dovute alla trasmissione sono prodotte dall'attrito tra gli ingranaggi e dalla resistenza aerodinamica. In prima approssimazione possono essere calcolate mediante la seguente relazione:

$$Power_loss = k[D_{\max} P + A_{\text{ctual}} P] \quad (24)$$

dove k varia tra 0.0025 e 0.00375;

$D_{\max} P$ è la massima potenza disponibile (fornita dal costruttore)

$A_{\text{ctual}} P$ è la potenza effettiva ovvero quella dopo l'installazione del propulsore a bordo.

Le perdite dovute ai generatori e alle pompe idrauliche sono funzione del carico che sopportano gli stessi in tutte le condizioni di volo. Possono essere calcolate, in prima approssimazione, mediante le seguenti relazioni:

$$Generator_loss = \frac{Load[Watt]}{(0.75) \cdot (746)} [hp] \quad (25)$$

$$Hydraulic_pump_loss = \frac{DP \cdot flow_rate}{(0.80) \cdot (1.714)} [hp] \quad (26)$$

dove DP è la pressione dinamica [psi] e $flow_rate$ è la portata di fluido [grammi per minuto (gpm)].

Un ulteriore classe di perdite sono quelle aerodinamiche dovute al fatto che l'elicottero accelera verso il basso delle masse d'aria.

Dobbiamo quindi calcolare la resistenza aerodinamica che nasce dalla V_1 .

Per il calcolo della resistenza possiamo procedere in due modi: effettuando un calcolo conservativo, non considerando che l'elicottero è tutto sotto il rotore, o considerando che la cellula, essendo posta al di sotto del rotore, si comporta come un "suolo" riducendo il pratica V_1 e, di conseguenza, la resistenza verticale.

Nel primo caso dividiamo la parte di elicottero posta al di sotto del rotore in una serie di tronchi, ciascuno con un suo coefficiente di resistenza proprio c_{D_0} ; successivamente sommiamo questi valori, ognuno moltiplicato per la propria proiezione sull'orizzontale, e dividiamo il tutto per la superficie del disco rotorico. Ricaviamo così il coefficiente di resistenza totale.

Noti i coefficienti, calcoliamo la resistenza verticale e la adimensionalizziamo rispetto al peso, abbiamo:

$$\frac{D_V}{G.W.} = \frac{\sum_i c_{D_{0i}} \left(\frac{q}{D.L.} \right)_i A_i}{A}$$

dove q è la pressione dinamica, c_{D_0} e A_i sono rispettivamente il coefficiente di resistenza e l'area della proiezione sull'orizzontale del singolo tronco preso in considerazione.

Nel secondo caso, considerando quindi l'effetto positivo della fusoliera, bisogna determinare la dimensione complessiva di ciò che si trova al di sotto del rotore e poi trasformare tali parti in una lastra piana posta ad una distanza media dal rotore stesso. Quindi, una volta trovata l'altezza media, si ipotizza il suolo posto a tale distanza e si calcola la $V_{1_{IGE}}$ e si ricava la riduzione di perdita dovuta alla resistenza verticale.

La variazione di potenza dissipata (negativa in quanto è una riduzione) è data da:

$$\frac{\Delta C_Q}{\sigma} = - \frac{\sum_{i=1}^N A_i}{A} \left\{ \left(\frac{c_T}{\sigma} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{\sigma}{2}} \left[1 - \frac{V_{1_{IGE}}}{V_{1_{IGE}}} \right] \right\} \quad (27)$$

Possiamo vedere l'entità di tale riduzione dal seguente grafico:

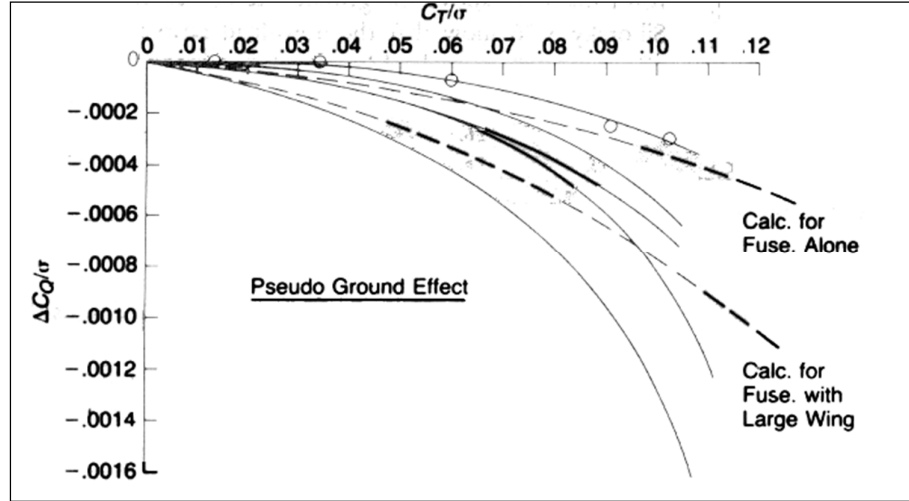


Figura 5.23

Un'altra forma di interferenza, simile alla resistenza verticale, è la mutua interferenza tra il tail rotor e la fin.

Tale interferenza si manifesta in due modi: come una forza sulla deriva che decrementa l'effettiva forza anticoppia generata dal tail rotor, e come un cambiamento delle condizioni del flusso che può richiedere un aumento o un decremento di potenza richiesta dal tail rotor.

La "spinta lorda" che deve fornire il tail rotor è data da:

$$T_T = \frac{T_{T_{req}}}{1 - F/T} \quad (28)$$

dove $T_{T_{req}}$ è la spinta richiesta per bilanciare la coppia di reazione dovuta al moto del main rotor e F/T prende il nome di fattore di interferenza ed assume valori inferiori all'unità, in genere compresi tra 0.6 e 0.9.

Una relazione empirica permette di calcolare la potenza necessaria al tail rotor perché questo possa contrastare la coppia di reazione:

$$P_{n_r} = \left(1 - \frac{F/T}{2} \right) P_T$$

dove P_T è la potenza necessaria nell'ipotesi in cui il rotore di coda non sia montato in corrispondenza della fin.

Calcolate le potenze necessarie, possiamo adesso disegnare, per l'elicottero, l'equivalente della polare parabolica simmetrica per il velivolo e quindi siamo in grado di calcolarne le performance.

Il diagramma corrispondente alla polare parabolica simmetrica è un diagramma sulla cui ascissa sono riportati i valori del coefficiente di coppia diviso per il rapporto di solidità e sulla cui ordinata sono riportati i valori del coefficiente di spinta sempre divisi per il rapporto di solidità. Così facendo consideriamo non solo le caratteristiche aerodinamiche del rotore ma anche il numero di pale

che lo costituiscono. Il valore del calettamento ϑ si considera crescente lungo la polare.

Di fianco è riportato il grafico delle polari del main rotor e del tail rotor, considerati isolati, di un elicottero preso ad esempio.

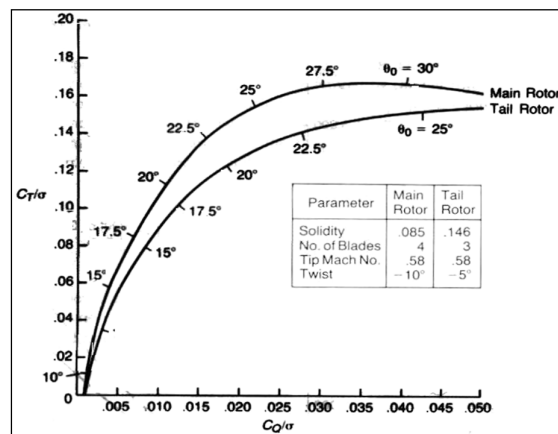


Figura 5.24

Osserviamo come, a differenza di quanto accadeva nell'aeroplano, il coefficiente di spinta non è molto maggiore del coefficiente di coppia e questo accade perché nell'elicottero non si raggiungono elevati valori di C_T .

Nota la polare, possiamo adesso tracciare il diagramma delle potenze necessarie in funzione del peso. Questo perché l'elicottero è fermo e quindi non abbiamo una potenza necessaria variabile con la velocità, bensì con il peso e la quota alla quale si effettua l'hovering.

Riepilogando, la potenza necessaria viene ricavata dalla somma della resistenza verticale per la velocità indotta, della coppia per la velocità di rotazione e della potenza richiesta dal tail rotor. Alla potenza così calcolata vanno poi ag-

giunte tutte le aliquote di potenza dovute alle perdite meccaniche precedentemente esaminate.

Le perdite di potenza fin qui esaminate sono prese in considerazione, anche se non esplicitamente detto, anche quando si analizzeranno le potenze necessarie nei regimi di volo studiati più avanti.

Di seguito riportiamo i grafici delle potenze necessarie per elicotteri al di fuori dall'effetto suolo ed in effetto suolo:

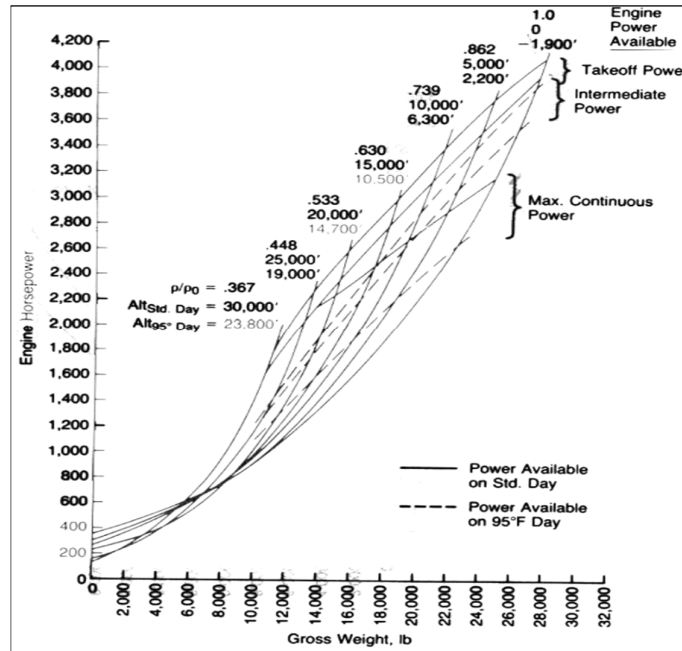


Figura 5.25

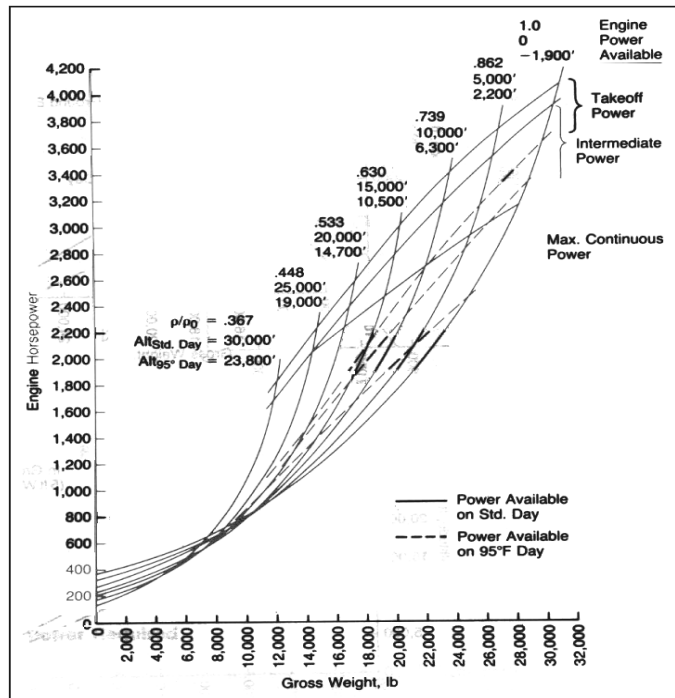


Figura 5.26

Vediamo adesso le quote alle quali è possibile effettuare l'hovering. Lo studio della massima quota di hovering equivale allo studio della quota di tangenza di un velivolo.

La condizione di hovering varia al variare della quota infatti le forze aerodinamiche sono legate alla densità ρ . Inoltre anche le potenze, sia disponibili sia necessarie, variano con la densità e quindi non possiamo affermare che, a parità di ϑ , a quote diverse modifichiamo la velocità in quanto siamo in volo stazionario. Concludiamo che la densità influenza notevolmente la possibilità di volare in hovering. Condizione affinché si possa effettuare l'hovering è che la potenza disponibile riesca a vincere la potenza necessaria.

Dobbiamo pertanto calcolare la legge di variazione della potenza disponibile con la quota tenendo conto che la coppia varia con essa. Si costruisce, infine, un diagramma, che viene di seguito riportato, dove si rappresenta la massima quota di hovering al variare del peso dell'elicottero:

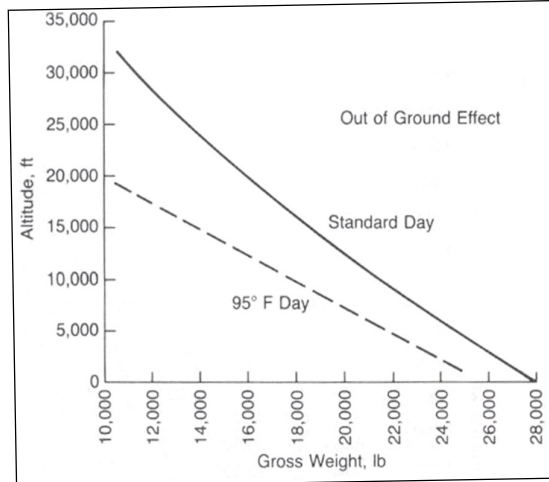


Figura 5.27

non sono indipendenti dalla quota alla quale si vola.

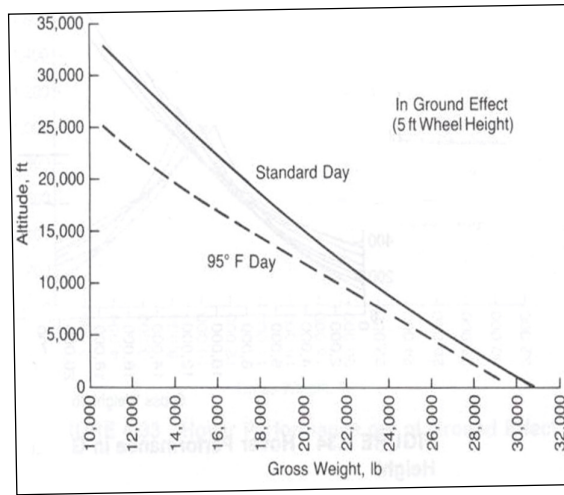


Figura 5.28

Definendo la SPECIFIC ENDURANCE ($S.E.$) come l'inverso del consumo specifico, possiamo calcolare il tempo di permanenza in hovering (misurato in ore) come:

$$t = \int_{G.W._{end}}^{G.W._{start}} (S.E.) dW \quad (29)$$

$$\text{dove } S.E. = \frac{1}{\text{fuel_flow}} \left[\frac{1}{\text{lb/hr}} \right]$$

Notiamo come maggiore è il peso, minore è la quota massima di hovering e viceversa. Questo avviene a parità di potenza installata e depurata da tutte le perdite.

La quota influenza anche il tempo di permanenza dell'elicottero in hovering in quanto i consumi specifici

La dipendenza del consumo specifico dalla quota è dovuta al fatto che la potenza necessaria che corrisponde allo stesso calettamento varia con la densità e quindi più in alto siamo maggiore sarà la potenza necessaria.

Il problema dell'endurance dell'elicottero in hovering è legato al fatto che, modificando la quota, necessita la stessa spinta e questa, non potendo agire sulla velocità, in quanto siamo fermi in aria, viene ottenuta modificando il calettamento delle pale. Modificando ϑ aumenta il coefficiente di coppia c_Q e quindi la resistenza.

5.3 Traslazione Verticale

Il secondo regime di volo che ci apprestiamo ad analizzare è la traslazione verticale, l'elicottero ha cioè la possibilità di volare in salita o discesa verticale.

Per spiegare il fenomeno schematizziamo il rotore all'interno di una galleria del vento verticale e simuliamo i vari regimi di volo passando dall'hovering alla salita e quindi alla discesa (quest'ultima effettuata con velocità di discesa differenti: bassa, media, elevata) mediante il fan presente nei tunnel.

Quanto detto è rappresentato nella seguente figura:

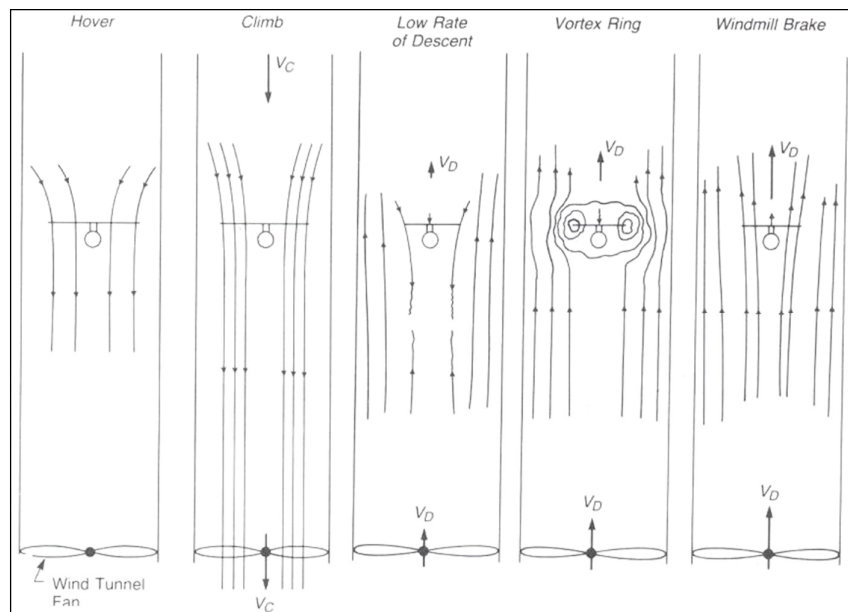


Figura 5.29

Abbiamo visto che, nel caso di hovering, il rotore induce una velocità V_1 verso il basso. A tale velocità, a seconda che siamo in salita o in discesa, vanno sommati o sottratti i contributi della velocità verticale.

Cominciamo con il considerare la salita. Il fan della galleria produce un flusso verso il basso che si somma a quello del rotore: la velocità relativa di salita V_c e la velocità indotta dal rotore sono concordi. La velocità totale sarà data da:

$$V_{1_c} = -\frac{V_c}{2} + \sqrt{\left(\frac{V_c}{2}\right)^2 + V_{1_{hov}}^2} \quad (30)$$

Nel caso di discesa, invece, il fan produce un flusso verso l'alto. In prossimità del rotore troviamo delle linee di corrente come quelle dell'hovering (il rotore induce velocità verso il basso) ma, all'esterno della zona del rotore, le linee di corrente sono dirette verso l'alto. Noi dobbiamo calcolare V_1 in quanto è da questa che dipende la resistenza verticale che incontra l'elicottero.

A questo punto è opportuno distinguere tra le tre condizioni di discesa precedentemente citate: discesa a velocità modesta, discesa a velocità intermedia e discesa a velocità elevata.

Nel caso di discesa a velocità modesta troviamo una zona in cui si ha un vento relativo diretto verso il basso ed una in cui si ha il vento relativo diretto verso l'alto. Dobbiamo quindi tener presente che, in prossimità del rotore, abbiamo un campo di moto con velocità diretta in verso opposto; possiamo calcolare la velocità indotta di discesa come:

$$V_{1_D} = \frac{V_D}{2} + \sqrt{\left(\frac{V_D}{2}\right)^2 + V_{1_{hov}}^2} \quad (31)$$

Questa relazione valida per velocità di discesa pari a circa $1/4$ della velocità indotta di hovering.

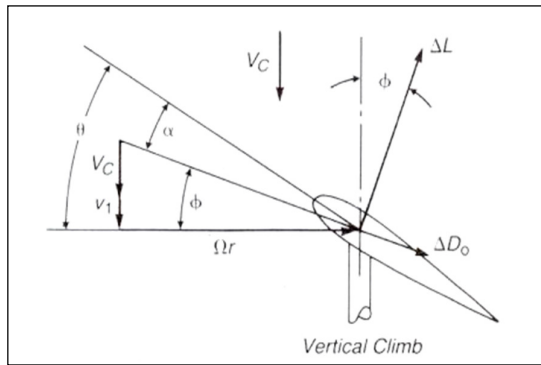
In caso di discesa a velocità intermedia, la velocità indotta dal fan è all'incirca della stessa intensità della velocità indotta dal rotore. In questa circostanza si hanno alcune zone del rotore in cui l'aria viene accelerata verso il basso e zone, intorno al tip delle pale, in cui l'aria viene accelerata verso l'alto. Come possiamo vedere il rotore si trova all'interno di una sorta di bolla; questo viene definito come "vortex ring state". Nel caso in esame il calcolo della velocità è più

complesso in quanto non è possibile applicare l'equazione della qualità di moto per la mancanza di una continuità di fluido.

Nel caso di discesa a velocità elevata, infine, siamo nella condizione in cui la velocità indotta dal rotore è inferiore alla velocità di discesa ($V_{i_{hov}} < V_D$). L'equazione della quantità di moto può essere nuovamente applicata e siamo nella condizione che prende il nome di "windmill brake state". L'equazione che permette il calcolo della velocità indotta di discesa è la seguente:

$$V_{i_{w.B.}} = \frac{V_D}{2} - \sqrt{\left(\frac{V_D}{2}\right)^2 - V_{i_{hov}}^2} \quad (32)$$

Analizziamo adesso cosa accade al generico elemento di pala durante la



traslazione verticale. Partiamo dalla condizione di salita.

Figura 5.30

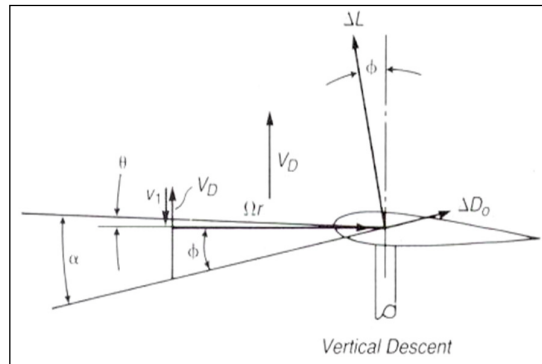


Figura 5.31

Rispetto alla condizione di hovering la V_1 è diventata maggiore in quanto si è composta con la velocità di salita. Il vento relativo ha, di conseguenza, cambiato direzione assumendo una inclinazione ed un modulo maggiore rispetto

all'hovering. La portanza è conseguentemente più inclinata e, pertanto, è aumentata la resistenza indotta ed è diminuita la componente di portanza che serviva a sostenere l'elicottero. Per ovviare a ciò dobbiamo aumentare il calettamento rispetto alla condizione di hovering ($\vartheta_c > \vartheta_H$) perché bisogna far crescere la portanza.

Da ciò deduciamo che occorre una potenza disponibile maggiore di quella che necessitava per l'hovering alla medesima quota.

Se siamo in discesa, invece, il vento relativo è in verso contrario al caso precedentemente analizzato. La velocità V_{1D} risultante dalla composizione di V_{1hov} e di V_D sarà inferiore in modulo rispetto a V_{1c} , e, quindi, il vento relativo assumerà inclinazione inferiore rispetto al caso precedente. La portanza, di conseguenza, risulterà inclinata in avanti e quindi la sua componente orizzontale sarà diventata minore della precedente ed avrà cambiato verso, mentre la componente di portanza nella direzione della verticale sarà aumentata. Avremo perciò la resistenza indotta che non si opporrà al moto bensì lo favorirà.

E' immediata conseguenza di ciò il fatto che, nella discesa verticale, occorrono calettamenti inferiori a quelli di hovering ($\vartheta_D < \vartheta_H$) per sostenere l'elicottero. Risultato di ciò è la diminuzione della potenza rispetto alla potenza necessaria per effettuare l'hovering.

Esiste una particolare condizione di volo, in cui $V_{1hov} = V_D$, che prende il nome di condizione di autorotazione in cui la portanza non si inclina. Tale condizione di volo verrà analizzata in seguito.

Abbiamo precedentemente accennato che, nel caso di salita verticale, la potenza richiesta è maggiore di quella richiesta per l'hovering e questo per vari motivi: l'aumento di energia potenziale, l'aumento di resistenza verticale, l'aumento di potenza del tail rotor e la diminuzione della potenza indotta.

La resistenza verticale aumenta perché nel momento in cui stiamo salendo di quota, la V_1 è maggiore di quella di hovering per i motivi visti in precedenza. Il tail rotor richiede maggiore potenza in quanto deve contrastare un momento di

entità maggiore rispetto all'hovering, dovuto ad una coppia maggiore necessaria per generare una portanza in grado di far salire l'elicottero.

È necessario dunque che questo induca una velocità V_1 maggiore rispetto a quanto faceva in hovering.

Calcoliamo adesso la resistenza verticale che l'elicottero incontra nel suo moto ascensionale. Per far ciò dovremmo considerare il fatto che la resistenza di profilo del rotore principale e del tail rotor sono diverse perché si stanno attraversando masse d'aria con caratteristiche diverse. Tuttavia, nel complesso, non commettiamo un grosso errore se consideriamo sempre la stessa resistenza di profilo in quanto le masse d'aria sono grandi e quindi le caratteristiche della corrente possono considerarsi asintotiche.

La resistenza verticale può essere scritta come:

$$D_V = 4 \left(\frac{D_V}{G.W.} \right)_{hov} \frac{\rho}{2} (V_{1_c} + V_c)^2 A_M + (\Delta A_z c_D) \frac{\rho}{2} V_c^2 \quad (33)$$

dove ΔA_z rappresenta la superficie dell'elicottero che non è in scia del rotore

A_M è l'area del main rotor

V_{1_c} è la velocità indotta in salita

V_c è la velocità di salita.

La spinta che deve fornire il tail rotor affinché sia bilanciata la coppia del main rotor è data da:

$$T_T = \frac{P_M}{(\Omega R)_M} \frac{R_M}{l_T} \quad (34)$$

dove l_T è la distanza tra l'asse del main rotor e l'asse del tail rotor misurata nella direzione dell'asse x.

La potenza assorbita dal tail rotor è pari a:

$$P_T = P_{0_T} + \frac{P_M}{(\Omega R)_M} \frac{R_M}{l_T} V_{1_T} \quad (35)$$

Infine, la potenza totale che spendiamo per effettuare una salita lungo la verticale ad una velocità V_c è data da:

$$P_{TOT} = P_M \left[1 + \frac{V_{l_{hovr}}}{(\Omega R)_M} \frac{R_M}{l_T} \right] + P_{0r} \quad (36)$$

dove P_{0r} è la potenza passiva del tail rotor.

Tuttavia, per calcolare la potenza necessaria a salire di quota, possiamo calcolare la potenza necessaria nel caso di hovering ed in seguito ne calcoliamo la variazione ΔP per salire ad una determinata velocità V_c .

La relazione che lega la variazione di potenza alla velocità di salita è rappresentata abbastanza fedelmente da una retta. Di seguito riportiamo il grafico in cui è tracciato l'andamento di ΔP in funzione del rateo di salita per l'elicottero AH-1G. Dalla figura è facilmente visibile la relazione lineare che lega le variabili.

Un metodo semplice per il calcolo della variazione di potenza necessaria può essere effettuato ignorando, per ratei di salita modesti, la resistenza verticale e gli effetti del tail rotor. Così facendo otteniamo:

$$\Delta P = \frac{G.W.}{550} (V_{l_c} + V_c - V_{l_{hov}}) \quad (37)$$

La relazione (37), nella condizione in cui

$$\left(\frac{V_c}{2} \right)^2 \ll (V_{l_{hov}})^2, \text{ può essere}$$

ulteriormente semplificata nella seguente relazione

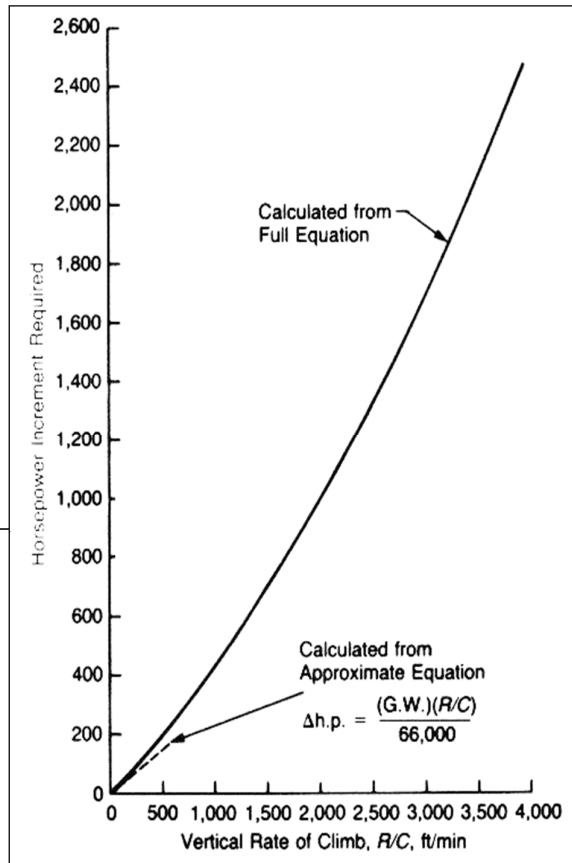


Figura 5.32

$$\Delta P = \frac{G.W. \cdot V_c}{550 \cdot 2} [h.p.]$$

Bisogna però considerare che, viste le modeste entità della V_c , potrebbe accadere che questa sia dello stesso ordine di grandezza dei venti atmosferici verticali. Se V_c è uguale alla velocità di un vento discendente, restiamo fermi; se inferiore, perdiamo quota; se superiore, invece, saliamo lentamente. Può accadere altresì che, se il vento atmosferico è ascendente, guadagniamo quota più facilmente.

Dobbiamo ricordare, però, che per salire, oltre ad una maggiore potenza, serve un angolo di calettamento maggiore perché deve incrementarsi la portanza che è generata esclusivamente dal main rotor.

La variazione del passo collettivo rispetto alla condizione di hovering per salire ad una data velocità V_c , è data da:

$$\Delta \vartheta = \frac{(V_{lc} + V_c - V_{l_{hov}})}{0.75(\Omega R)} \quad (38)$$

Tale variazione è vincolata dalle caratteristiche aerodinamiche del rotore, in quanto si ha un valore dell'angolo di calettamento oltre il quale il rotore stalla. Il vincolo aerodinamico si ripercuote sulla velocità di salita che non può essere aumentata arbitrariamente, bensì entro un dato valore massimo.

La velocità massima di salita è legata, al contempo, all'esubero di potenza disponibile rispetto alla potenza necessaria, vige infatti la seguente relazione:

$$V_c = \frac{P_d - P_n}{G.W.} \quad (39)$$

Vediamo adesso quale è la massima quota raggiungibile mediante una salita verticale. La limitazione della massima quota da raggiungere, come facilmente intuibile, dipende dal fatto che la velocità di salita è funzione dell'esubero di potenza disponibile rispetto alla potenza necessaria. Dato che tale esubero di potenza è funzione delle caratteristiche del propulsore e delle forze aerodinamiche e che queste cambiano con la quota, vi sarà, come per il velivolo, una quota di tangenza teorica in corrispondenza alla quale si può rimanere esclusivamente in

hovering. Per ricavare tale quota occorrerà annullare la relazione (39) e risolverla rispetto alla quota.

Accanto alla quota di tangenza teorica si ha una quota di tangenza pratica che è quella che si ottiene imponendo, nella relazione (39), una velocità di salita

pari a 0.5m/s, in perfetta analogia con i velivoli, e risolvendo rispetto alla quota.

L'andamento della relazione che lega la quota alla velocità di salita è riportata di seguito e, come per il velivolo, è pressoché lineare

Sovente si utilizza un altro diagramma in cui

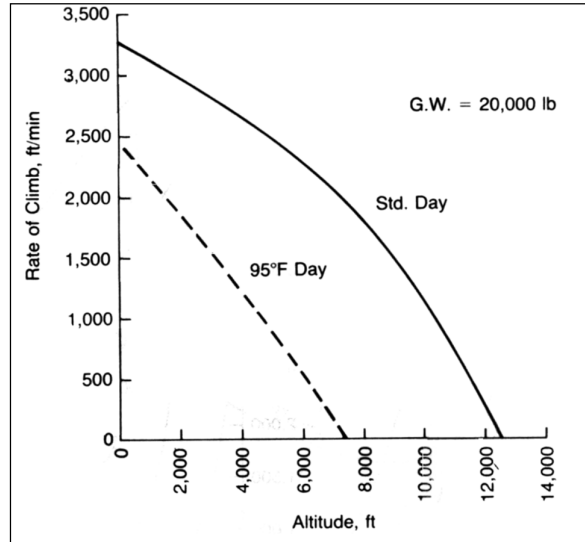


Figura 5.33

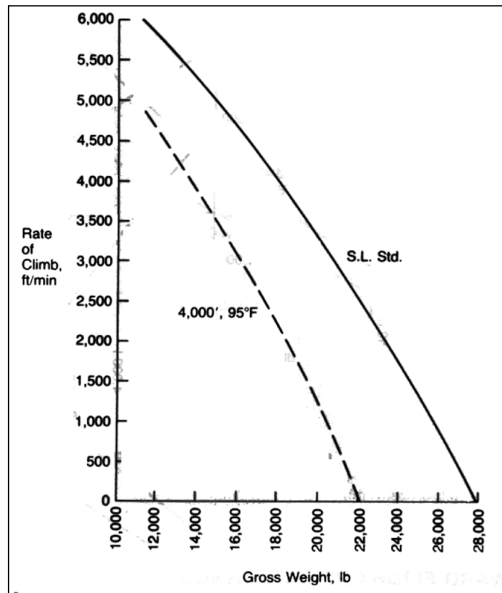


Figura 5.34

in ordinata si ha la velocità di salita ed in ascissa il peso dell'elicottero. Questo si fa perché quando la velocità di salita è sufficientemente modesta, la potenza necessaria è una funzione semplicemente del peso:

Si vede che al crescere del peso otteniamo velocità di salita più modeste.

Per quanto riguarda la trattazione della discesa verticale, questa è la stessa della salita soltanto che i versi della velocità so-

no opposti.

Il vento relativo cambia modulo e verso e porta la portanza ad inclinarsi come nel caso della salita soltanto che, questa volta, si inclina verso il bordo d'attacco. Questo comporta che la componente orizzontale della portanza invece di opporsi al moto lo favorisce il che comporta la necessità di calettamenti più piccoli ed anche di potenze minori.

5.4 Autorotazione

Come precedentemente accennato, l'autorotazione è una particolare condizione di volo in cui la velocità di discesa coincide con la velocità indotta: $V_1 = V_D$. A seguito di ciò si ha l'assenza di flusso di massa netto attraverso il rotore.

Tale condizione è un normale regime di volo.

La definizione precedentemente data all'autorotazione è sì esatta, ma non del tutto veritiera; dobbiamo infatti considerare che la velocità indotta non è costante lungo la pala e quindi le singole sezioni generano portanze diverse.

Dobbiamo quindi ricavare la relazione analitica che ci consente di stabilire la condizione tra la velocità di rotazione del rotore (Ω), la velocità di discesa (V_D) ed il calettamento (ϑ) che corrisponde alla condizione di autorotazione.

Parliamo di velocità di rotazione del rotore perché l'autorotazione, per l'elicottero, può essere considerata come l'equivalente della piantata del motore per un velivolo perché in questo caso non è necessario applicare una coppia motrice in quanto il rotore si mantiene in rotazione da solo ed assume velocità che sono funzione della resistenza che incontra.

A tal proposito diciamo che l'autorotazione è una condizione stabile perché il rotore ruota in conseguenza della traslazione dell'elicottero verso il basso e se, per qualsiasi motivo, le pale dovessero accelerare, la portanza si inclinerebbe verso il bordo d'uscita delle pale e quindi crescerebbe la componente di resistenza nella direzione della rotazione ed il rotore decelererebbe tornando alla velocità precedente. Se, invece, il rotore dovesse decelerare, la portanza si inclinerebbe verso il bordo d'attacco delle pale e quindi si avrebbe una componente della stes-

sa che favorirebbe il moto e quindi le pale accelererebbero tornando alla velocità precedente.

Nella condizione di autorotazione, dato che il rotore ruota esclusivamente grazie al vento relativo, la coppia è nulla. Per ricavare le condizioni di autorotazione dobbiamo quindi trovare l'espressione della coppia ed annullarla.

Prima di far ciò, però, dobbiamo stabilire la massima e la minima velocità di rotazione del rotore.

La velocità di rotazione massima è vincolata all'integrità della pala ovvero dall'entità della forza centrifuga in quanto questa cresce con il quadrato di tale velocità; poniamo tale valore pari a quello in corrispondenza al quale si ha la massima forza centrifuga sopportabile strutturalmente dalla pala. Valori possibili di velocità di rotazione massima sono superiori del $10 \div 20\%$ rispetto alla velocità di rotazione in hovering.

La velocità di rotazione minima è vincolata, invece, all'aerodinamica del rotore in quanto le pale non devono raggiungere l'incidenza di stallo. Valori possibili sono inferiori del $20 \div 30\%$ rispetto alla velocità di rotazione in hovering.

Per trovare le condizioni di autorotazione, invece di annullare l'equazione che permette di calcolare la coppia, annulliamo quella del coefficiente di coppia:

$$c_Q = \frac{\sigma}{2} \left[\frac{c_{L_\alpha}}{2} (\vartheta_T - \alpha_{i_r}) \alpha_{i_r} + \frac{c_d}{4} \right] = 0 \quad (40)$$

Dalla condizione di hovering sappiamo che:

$$(\vartheta_T - \alpha_{i_r}) = c_T \frac{4}{\sigma c_{L_\alpha}}$$

Inoltre sappiamo che l'incidenza indotta del tip è pari a:

$$\alpha_{i_r} = - \left[\frac{V_D - V_1}{\Omega R} \right]$$

Sostituendo quanto scritto prima nella relazione (40) otteniamo:

$$-c_T \frac{(V_D - V_1)}{\Omega R} + \frac{\sigma c_d}{8} = 0 \quad (41)$$

Adimensionalizzando le velocità rispetto alla velocità di hovering abbiamo:

$$\hat{V}_D = \frac{V_D}{V_{1_{hov}}} = \frac{V_D}{\Omega R \sqrt{\frac{c_T}{2}}}$$

$$\hat{V}_1 = \frac{V_1}{V_{1_{hov}}} = \frac{V_1}{\Omega R \sqrt{\frac{c_T}{2}}}$$

Sostituendo le velocità adimensionali nella (41), e risolvendo rispetto a $\hat{V}_D - \hat{V}_1$, otteniamo:

$$\hat{V}_D - \hat{V}_1 = \frac{\frac{\sigma c_d}{8}}{\frac{c_T^{3/2}}{\sqrt{2}}} = \frac{\frac{3}{2}\sqrt{3}}{\sqrt{\sigma} \frac{c_T^{3/2}}{c_d}} \quad (42)$$

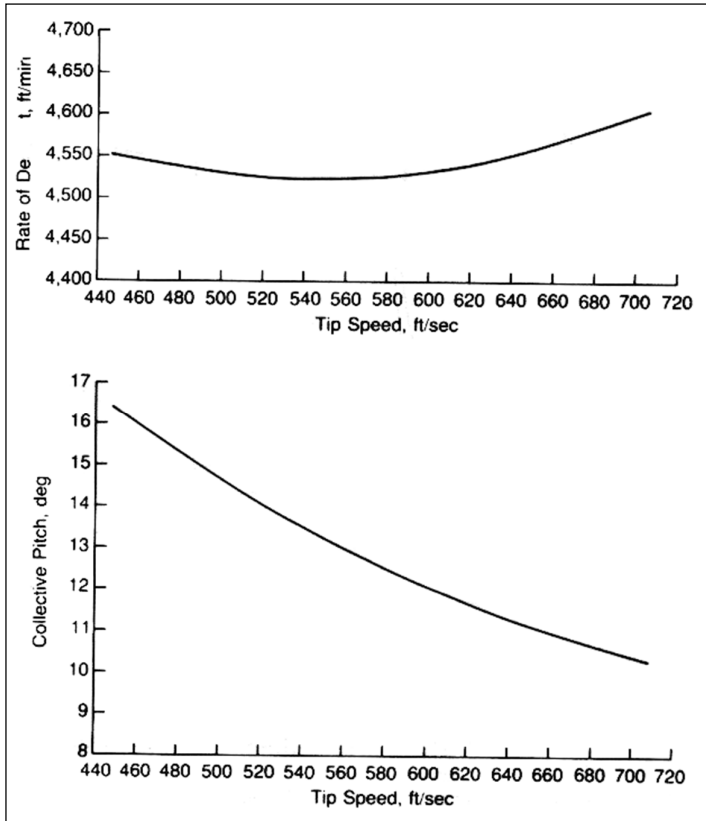


Figura 5.35

Da questa relazione possiamo osservare come il rateo di discesa sia inversamente proporzionale all'indice di potenza $\frac{c_T^{3/2}}{c_d}$. La minima velocità di discesa si ha in corrispondenza all'indice di potenza massimo. Questo dipende quindi dalle caratteristi-

che aerodinamiche dei profili che costituiscono la pala e dalla sua forma in pianta.

In Figura 5.20 è riportato il rateo di discesa, calcolato per un elicottero preso ad esempio, in funzione della velocità (tangenziale) del tip delle pale:

Osserviamo, come avevamo accennato, che tale curva presenta un minimo. Questa è una condizione teorica in quanto il rotore si troverebbe in prossimità dello stallo delle pale e questa sarebbe una condizione troppo pericolosa perchè una perturbazione delle condizioni porterebbe allo stallo del rotore.

In realtà la relazione (42) non è del tutto corretta perchè abbiamo trascurato che, scendendo in autorotazione, l'elicottero stesso genera resistenza e non solo il rotore nel suo moto. La componente orizzontale della portanza deve quindi vincere non soltanto la resistenza dovuta alla rotazione delle pale, ma quella complessiva dell'elicottero.

La seguente relazione semiempirica tiene conto proprio del fatto che l'elicottero genera resistenza quando scende in autorotazione:

$$\hat{V}_D - \hat{V}_1 = \frac{\frac{3}{2} \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{\sigma}} \left[1 + \frac{4400 \cdot \Delta P}{\rho A_b (\Omega R)^3 c_d} \right]}{\frac{c_T^{3/2}}{c_d}} \quad (43)$$

dove ΔP è espresso in *h.p.*

La velocità di discesa ottenuta mediante quest'ultima relazione sarà, evidentemente, più elevata di quella calcolata in precedenza.

Il calettamento richiesto perchè si possa effettuare l'autorotazione si ottiene mediante la seguente relazione:

$$\vartheta_0 = \frac{3}{2} \vartheta_{T_{ideal_twist}} - \frac{3}{4} \vartheta_1$$

$$\vartheta_0 = \frac{3}{2} \left\{ 57.3 \left[\frac{4}{c_{L_\alpha}} \frac{c_T}{\sigma} - \frac{V_{hov}}{\Omega R} (\hat{V}_D - \hat{V}_1) \right] \right\} - \frac{3}{4} \vartheta_1 \text{ [deg]}$$

dove ϑ_1 è lo svergolamento della pala.

Pur essendo una condizione di volo stabile, l'autorotazione è comunque una manovra di emergenza o, al più, una manovra di simulata emergenza.

Si ha un tempo di ritardo tra la perdita di potenza del motore e l'azione correttiva del pilota. La riduzione della velocità del rotore durante questo periodo di tempo è una funzione della potenza richiesta e del livello di energia cinetica posseduta dal rotore.

Effettuando un calcolo conservativo, si può considerare che il momento decelerante sia proporzionale al quadrato della velocità istantanea del rotore. Il grado di conservatività di tale ipotesi dipende, tuttavia, dalle condizioni al momento della piantata del motore.

Utilizzando tale assunzione, l'equazione della riduzione della velocità del rotore è la seguente:

$$\dot{\Omega} = -\frac{Q_0 \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^2}{J} \quad (44)$$

dove il pedice 0 indica le condizioni nell'istante di piantata del motore e J è il momento polare d'inerzia del sistema di guida che include il main rotor, il tail rotor e la trasmissione:

$$J = J_M + \left(\frac{\Omega_T}{\Omega_M} \right) J_T + J_{trans}$$

Integrando separando le variabili dell'equazione (44) otteniamo:

$$\frac{\Omega}{\Omega_0} = \frac{1}{1 + \frac{Q_0 t}{J \cdot \Omega_0}} \quad (45)$$

È molto importante riscrivere l'equazione in funzione del tempo nel quale il rotore dissipa la propria energia cinetica partendo dalla potenza iniziale:

$$t_{K.E.} = \frac{\frac{1}{2} J \cdot \Omega_0^2}{P_0} = \frac{\frac{1}{2} J \cdot \Omega_0}{Q_0} \quad (46)$$

Sostituendo la (46) nella (45), otteniamo la forma definitiva dell'equazione della riduzione della velocità del rotore:

$$\frac{\Omega}{\Omega_0} = \frac{1}{1 + \frac{t}{2t_{K.E.}}} \quad (47)$$

Sostituendo in tale equazione vari valori di $t_{K.E.}$, otteniamo il seguente gra-

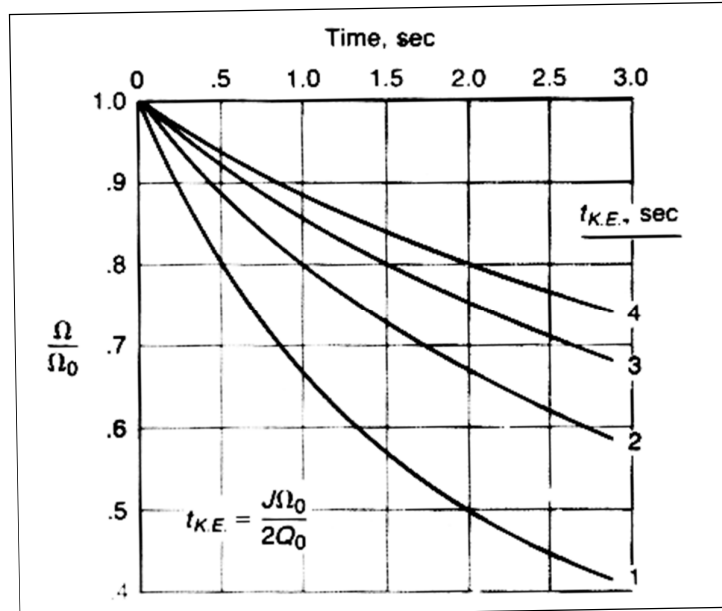


Figura 5.36

A seguito della piantata del motore il pilota ha a disposizione una zona limitata nella quale può scegliere il luogo di atterraggio. Il raggio di questa zona dipende dalla quota alla quale si trova l'elicottero al momento dell'avaria in quanto è uguale alla massima distanza percorribile planando.

La quota di partenza può essere la quota alla quale si trova l'elicottero al momento della piantata del motore oppure la quota, maggiore, che il pilota può raggiungere effettuando una manovra che prende il nome di ZOOM MANEUVER. Tale manovra può essere effettuata quando, al momento della piantata del motore, l'elicottero ha una velocità di avanzamento V_0 superiore a quella di autorotazione V_1 . La quota può essere guadagnata sfruttando l'energia cinetica resa disponibile dalla riduzione della velocità rispetto all'aria e dalla potenza dissipata durante il tempo richiesto dalla manovra:

fico in cui è riportato il valore della velocità istantanea di rotazione del rotore rapportato alla velocità iniziale in funzione del tempo.

$$\Delta h = \frac{\frac{G.W.}{2g} (V_0^2 - V_1^2) - 550 \int_{t_0}^{t_1} P dt}{G.W.} \text{---}[ft] \quad (48)$$

dove P è espresso in $h.p.$

Per questo calcolo si assume la potenza corrispondente alla media delle potenze delle due condizioni di volo ed il tempo di manovra pari al tempo necessario al pilota per decelerare da V_0 a V_1 . Con queste assunzioni otteniamo:

$$\Delta h = \frac{1}{2g} (V_0^2 - V_1^2) - 550 \frac{P_0 + P_1}{2 \cdot G.W.} \frac{V_0 - V_1}{g \cdot \sin \gamma_c} \quad (49)$$

dove l'angolo di rampa γ_c è dato da:

$$\gamma_c = \arccos \frac{c_w / \sigma}{\left(c_T / \sigma \right)_{MAX}}$$

L'incremento di range dovuto alla zoom maneuver è pari a:

$$\Delta d = 60 \cdot \Delta h \frac{V_1}{R/D} \text{---}[ft] \quad (50)$$

con R/D rateo di discesa.

Concludiamo tale trattazione sull'autorotazione facendo un breve cenno al DIAGRAMMA H-V (HEIGHT-VELOCITY DIAGRAM) cioè il diagramma costituito dalle condizioni limite di quota e velocità oltre le quali non è possibile dimostrare che si possa effettuare un safe landing in condizione di autorotazione.

Di seguito riportiamo la forma di un tipico diagramma H-V:

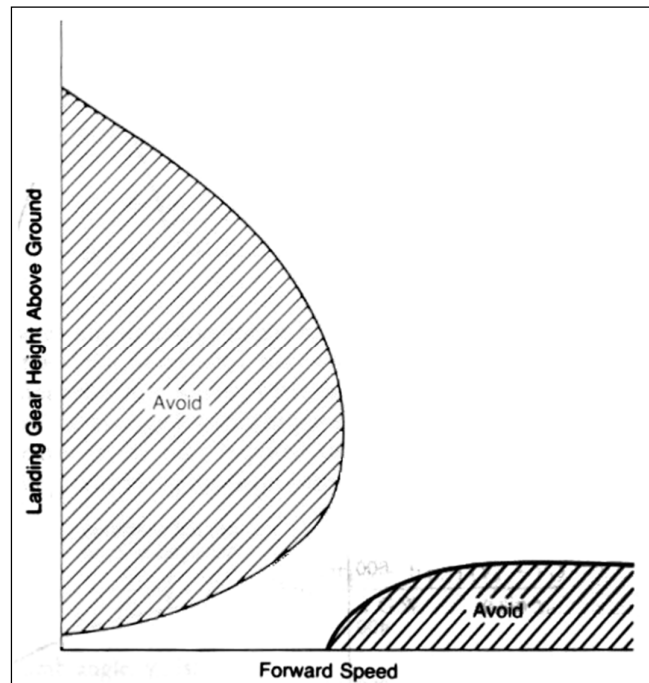


Figura 5.37

Tale diagramma, anche se può essere ricavato analiticamente, viene sempre determinato mediante prove di volo effettuate del costruttore dell'elicottero al peso operativo ed in condizioni di bassa ed alta quota.

Nel diagramma H-V sono contrassegnate, come facilmente visibile dalla figura sopra riportata, due aree all'interno delle quali il volo non può essere condotto perché mancano sufficienti margini di sicurezza. Tali zone corrispondono a condizioni di alta quota e bassa velocità, e di bassa quota ed elevata velocità.

Nella prima di tali zone il volo è pericoloso perché l'elicottero, volando a velocità molto basse, in caso di piantata del motore, scenderebbe rapidamente di quota seguendo una traiettoria pressoché verticale senza avere spazio e tempo sufficienti per mettersi in autorotazione.

Nella seconda zona, invece, il volo è pericoloso perché l'alta velocità combinata con la bassa quota non consente al pilota spazio sufficiente per ridurre la velocità e regolare l'assetto per l'atterraggio.

5.5 Volo Traslato

Il regime di volo che ci apprestiamo ad analizzare è la traslazione; tale regime si effettua mediante l'inclinazione del disco rotorico in modo che la spinta

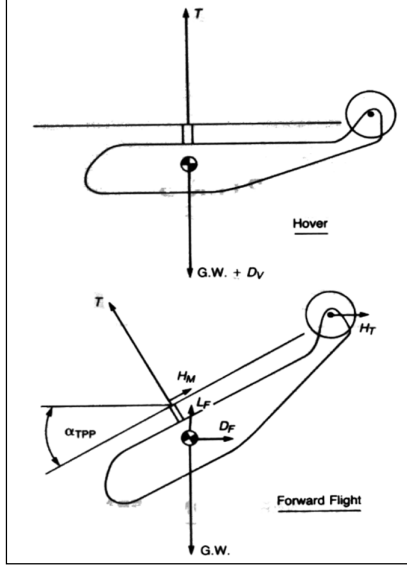


Figura 5.38

abbia una componente in avanti che consente di bilanciare la resistenza orizzontale delle pale del rotore, la resistenza della fusoliera, del mozzo, del carrello d'atterraggio e altre parti resistenti.

La resistenza delle pale del rotore è nota come FORZA ORIZZONTALE DEL ROTORE (ROTOR HORIZONTAL FORCE) o H-force; tutte le altre resistenze vengono classificate come resistenze parassite. La resistenza delle pale del rotore di coda è anch'essa una H-force, però è diretta in opposizione alla direzione di traslazione in quanto il tail rotor è montato a 90° rispetto

al rotore principale.

La spinta generata dal disco rotorico, che noi consideriamo come una lastra piana, è ortogonale a questo.

Si introduce, in caso di elicottero in volo traslato, un angolo, indicato con α_{TPP} (TIP PLATE PLAIN), che è il duale dell'angolo di incidenza per l'aeromobile. Esso è definito come l'angolo formato tra il disco rotorico e la direzione di avanzamento.

Le equazioni di equilibrio del volo traslato sono le seguenti:

$$\begin{cases} (L_{FUS}) + T \cdot \cos \alpha_{TPP} = G.W. + D_V - H \cdot \sin \alpha_{TPP} \\ T \cdot \sin \alpha_{TPP} = H \cdot \cos \alpha_{TPP} + H_{TAIL} + D_{FUS} \end{cases} \quad (51)$$

dove il termine in parentesi viene inserito soltanto quando la fusoliera dell'elicottero è portante.

Solitamente l'angolo di incidenza del disco rotorico è sufficientemente piccolo tanto da poter considerare

$$\begin{aligned}\sin \alpha_{TPP} &\cong \tan \alpha_{TPP} \cong \alpha_{TPP} \\ \cos \alpha_{TPP} &\cong 1\end{aligned}$$

Così facendo effettuiamo una approssimazione di tipo conservativo in quanto, inserendo tali condizioni nell'equazione (51), affermiamo che tutta l'H-force viene vinta dalla componente orizzontale della spinta mentre in realtà non è così in quanto deve essere vinta soltanto la componente orizzontale della H-force del main rotor.

Le equazioni di equilibrio (51), con l'approssimazione fatta, possono dunque scriversi come:

$$\begin{cases} (L_{FUS}) + T = G.W. + D_V - H \cdot \alpha_{TPP} \\ T \cdot \alpha_{TPP} = H + H_{TAIL} + D_{FUS} \end{cases} \quad (52)$$

Per quanto riguarda la condizione di volo rettilineo uniforme orizzontale possiamo affermare che, come nel caso dell'aeromobile, questa condizione si ha ogni qualvolta la potenza disponibile eguaglia la potenza necessaria.

Bisogna adesso calcolare la velocità indotta dal rotore.

Per far ciò sfruttiamo l'analogia esistente tra il disco rotorico e l'ala dell'aeroplano. Per un'ala ideale con distribuzione ellittica della portanza, l'accelerazione verso il basso data a

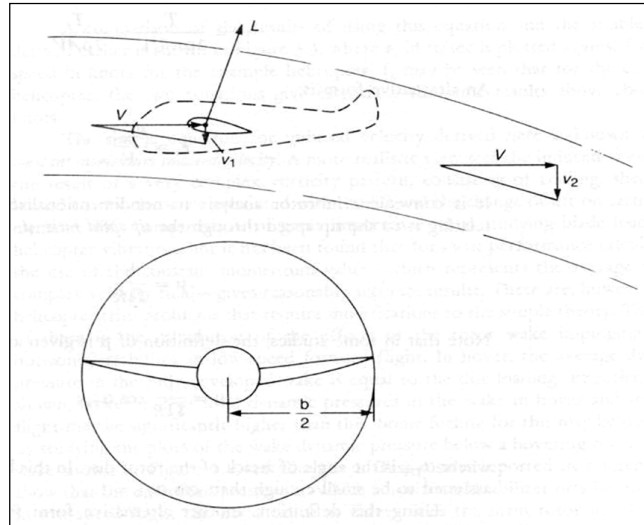


Figura 5.39

tutta la massa d'aria è matematicamente equivalente ad una accelerazione uniforme data alla sola massa d'aria contenuta in un cilindro il cui diametro è pari all'apertura alare.

Per il velivolo abbiamo quindi che:

$$L = \rho \sqrt{V^2 + V_1^2} \pi \left(\frac{b}{2} \right)^2 V_2$$

ma, dato che nella maggioranza delle condizioni di volo $V \gg V_1$, possiamo scrivere:

$$L = \rho V \pi \left(\frac{b}{2} \right)^2 V_2$$

dove $V_2 = 2V_1$

Possiamo quindi ricavare V_1 :

$$V_1 = \frac{L}{2\rho\pi\left(\frac{b}{2}\right)^2 V}$$

Il rotore segue la stessa legge della quantità di moto dell'ala. Da ciò deriva che la teoria del tubo di flusso viene accettata come valida anche per l'elicottero.

$$V_1 = \frac{T}{2\rho\pi R^2 V} = \frac{T}{2\rho A V} = \frac{V_{1_{hov}}^2}{V} \quad (53)$$

Spesso, nell'analisi del rotore, si usa adimensionalizzare la velocità di avanzamento mediante la velocità tangenziale del tip delle pale. Tale velocità prende il nome di TIP SPEED RATIO (TSR) e viene indicata con μ :

$$\mu = \frac{V}{\Omega R} \cos \alpha_{TPP} \cong \frac{V}{\Omega R} \quad (54)$$

Sostituendo la (54) nella (53) otteniamo:

$$V_1 = \frac{c_T}{2} \frac{\Omega R}{\mu} \quad (55)$$

Quanto detto vale per condizioni di volo in cui la velocità di avanzamento è molto maggiore della velocità indotta. Qualora ciò non accada non è più possibile trascurare la V_1 .

Avremo quindi:

$$T = \rho A \sqrt{V^2 + V_1^2} \cdot 2V_1$$

$$V_1 = \sqrt{-\frac{V^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{V^2}{2}\right)^2 + \left(\frac{T}{2\rho A}\right)^2}} = \sqrt{-\frac{V^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{V^2}{2}\right)^2 + V_{1_{hov}}^4}} \quad (56)$$

Possiamo adesso calcolare la potenza che viene dissipata quando l'elicottero trasla. La resistenza indotta del rotore ideale in volo avanzato può essere scritta come:

$$D_i = T \cdot \sin \alpha_i \cong T \cdot \alpha_i = T \frac{V_1}{V} = \frac{T^2}{2\rho A V^2} \quad (57)$$

La corrispondente potenza indotta è pari a:

$$P_i = D_i V = \frac{T^2}{2\rho A V} \quad (58)$$

Il conto fatto finora è, in realtà, esatto soltanto se la distribuzione di portanza sulle pale è ellittica in quanto abbiamo ipotizzato che la massa d'aria che viene accelerata dall'elicottero durante il suo moto è contenuta in un cilindro circolare. Se la distribuzione della portanza non è ellittica dobbiamo modificare quanto precedentemente scritto mediante l'introduzione del numero di Oswald (e).

In genere, per gli elicotteri, e varia tra 0.70 e 0.75.

Tenendo in considerazione il numero di Oswald abbiamo:

$$P_i = \frac{T^2}{2\rho A V e} = \frac{TV}{e} \left(\frac{V_{1_{hov}}}{V} \right)^2 \quad (59)$$

Adimensionalizzando otteniamo:

$$\frac{c_P}{\sigma_{ind}} = \left(\frac{c_T}{\sigma} \right) \frac{\sigma}{2\mu e} \quad (60)$$

dove σ_{ind} è la solidità vera in quanto non tutta la superficie della singola pala contribuisce a generare la portanza. σ_{ind} è il duale dell'allungamento equivalente dell'aeromobile.

Dobbiamo adesso prendere in considerazione la potenza dissipata da tutte le parti resistenti dell'elicottero che non costituiscono il rotore; dobbiamo cioè calcolare quella che prende il nome di POTENZA PARASSITA (PARASITE POWER). Questa è facilmente ottenibile moltiplicando la resistenza parassita (D_p) per la velocità di avanzamento:

$$P_p = D_p \cdot V \quad (61)$$

La resistenza parassita dovrebbe essere espressa, come per gli aeroplani, come una funzione del coefficiente di resistenza: $D_p = \frac{1}{2} \rho V^2 S c_D$. Nel caso dell'elicottero, però, sorge il problema dell'assegnazione dell'area di riferimento S che non può essere l'area del disco rotorico in quanto i risultati che si otterrebbero non sarebbero soddisfacenti.

Per questo motivo si determina la SUPERFICIE PARASSITA EQUIVALENTE cioè la superficie, indicata con f , ottenuta dividendo la resistenza per la pressione dinamica. Tale superficie è l'area della lastra piana avente coefficiente di resistenza unitario e resistenza uguale a quella dell'elicottero:

$$f = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (62)$$

Valori tipici di f vanno da $5ft^2$ per i piccoli elicotteri a $60ft^2$ per elicotteri grandi.

Nota la superficie parassita, la potenza parassita è facilmente calcolabile:

$$P_p = D_p V = \frac{1}{2} \rho V^2 f V = \frac{1}{2} \rho f V^3$$

Adimensionalizzando otteniamo:

$$\frac{c_p}{\sigma} = \frac{f}{A_b} \frac{\mu^3}{2}$$

L'ultima potenza dissipata che ci resta da considerare è quella che prende il nome di POTENZA DI PROFILO (PROFILE POWER).

Il coefficiente di coppia assume la seguente formula

$$\frac{c_Q}{\sigma} = \frac{c_d}{8} (1 + \mu^2) \quad (63)$$

Il coefficiente di H-force dovuta alla resistenza degli elementi di pala può essere scritto come:

$$\frac{c_H}{\sigma} = \frac{c_d \mu}{4} \quad (64)$$

La potenza di profilo, cioè la potenza totale dissipata dalle pale per effetto della coppia resistente e della H-force, è quindi pari a:

$$P_{O+H} = \rho A_b (\Omega R)^3 \left[\frac{c_d}{8} (1 + \mu^2) \right] + \rho A_b (\Omega R)^2 \left[\frac{c_d}{4} \mu \right] V = \rho A_b (\Omega R)^3 \frac{c_d}{8} (1 + 3\mu^2) \quad (65)$$

In forma adimensionale abbiamo:

$$\frac{c_{P_{O+H}}}{\sigma} = \frac{c_d}{8} (1 + 3\mu^2) \quad (66)$$

dove c_d è il valore medio di coefficiente di resistenza.

La potenza totale richiesta dal rotore principale, al di fuori dell'effetto suolo, è pari alla somma dei contributi precedentemente calcolati:

$$P_M = \frac{T^2}{2\rho A V e} + \frac{\rho f V^3}{2} + \rho A_b (\Omega R)^3 \frac{c_d}{8} (1 + 3\mu^2) \quad (67)$$

In forma dimensionale abbiamo:

$$\frac{c_P}{\sigma} = \left(\frac{c_T}{\sigma} \right)^2 \frac{\sigma}{2\mu e} + \frac{f}{A_b} \frac{\rho}{2} \mu^3 + \frac{c_d}{8} (1 + 3\mu^2) \quad (68)$$

La curva della potenza richiesta dal main rotor, con valori numerici relativi all'elicottero AH-1G, è di seguito riportata:

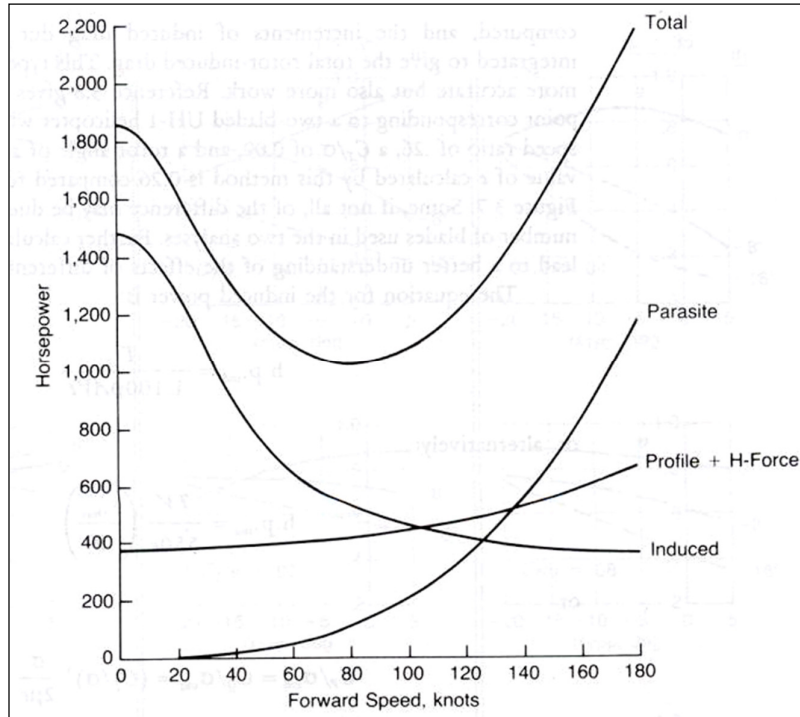


Figura 5.40

Nella figura sopra riportata, oltre all'andamento della potenza necessaria totale del main rotor, sono riportati anche gli andamenti dei contributi alla potenza che sono stati precedentemente calcolati.

Osserviamo come, a differenza di quanto accade nei velivoli, il grafico della potenza necessaria è tracciato fino alla velocità di avanzamento nulla. Questo perché l'elicottero può volare a punto fisso mentre il velivolo non può volare al di sotto della velocità di minima sustentazione.

La potenza del tail rotor può essere analizzata allo stesso modo e mediante le stesse approssimazioni fatte per il main rotor.

La spinta richiesta al tail rotor per bilanciare la coppia di reazione è pari a:

$$T_T = \left(\frac{P_M}{\Omega R_M} \right) \left(\frac{R_M}{l_T} \right) \quad (69)$$

dove l_T è la distanza tra gli assi del rotore principale e del tail rotor il pedice M indica il main rotor.

Il tail rotor non è usato per vincere resistenze e quindi non si ha il termine relativo alla potenza parassita. In prima approssimazione, quindi, la potenza richiesta dal tail rotor in volo avanzato è pari a:

$$P_T = \left[\frac{T^2}{2\rho AV} + \rho A_b (\Omega R)^3 \frac{c_d}{8} (1 + 3\mu^2) \right]_T \quad (70)$$

dove il pedice indica che tutti i parametri fisici sono relativi al tail rotor.

La potenza necessaria totale, per l'elicottero preso ad esempio, a quota zero, sarà il seguente:

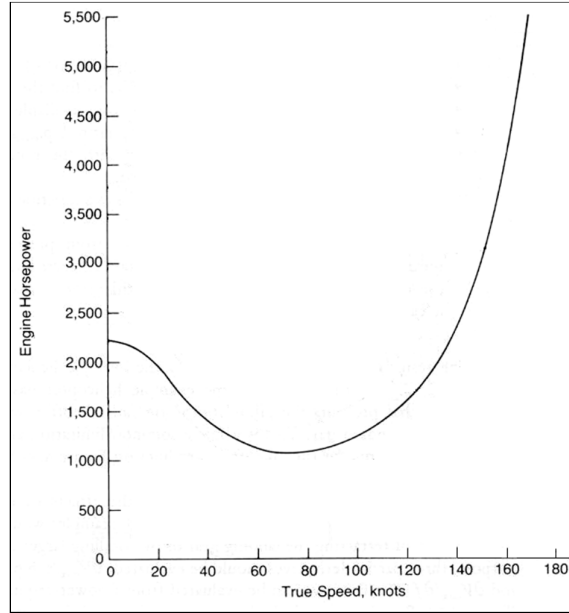


Figura 5.41

Se cambiamo quota il grafico cambia; infatti le ascisse traslano come $1/\sqrt{\delta}$ e le ordinate variano anch'esse come $1/\sqrt{\delta}$ in quanto altro non sono che resistenze moltiplicate per la velocità. Ricordiamo a tal proposito che δ è il rapporto tra la densità dell'aria alla quota di volo e la densità dell'area a quota zero:

$$\delta = \rho / \rho_0.$$

Le condizioni di volo rettilineo uniforme orizzontale sono tutte quelli in cui si può avere eguaglianza tra potenza disponibile e potenza necessaria. Man

mano che si sale di quota, dato che le potenze necessarie crescono e le prestazioni dei motori diminuiscono, abbiamo campi di velocità sempre più ridotti all'interno dei quali possiamo volare in volo rettilineo uniforme orizzontale. Come in precedenza detto la massima quota di volo, è la quota di tangenza alla quale è possibile il solo hovering.

Nel volo traslato, così come nell'hovering, il rotore ottiene effetti benefici dalla vicinanza del suolo. In effetto suolo infatti la potenza indotta, che è proporzionale al rapporto $\frac{V_{IGE}}{V_{IGE}}$, si riduce. L'andamento del rapporto tra le velocità

indotte in effetto suolo e fuori dall'effetto suolo è riportato nella figura al variare

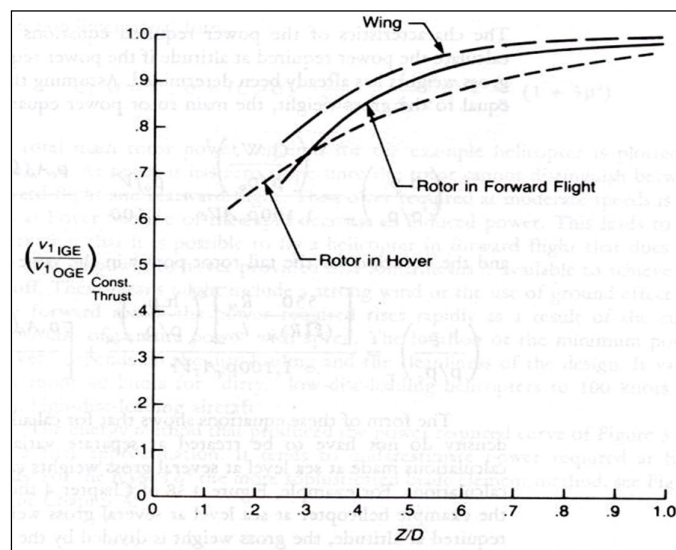


Figura 5.42

della distanza dal suolo (adimensionalizzata mediante il diametro del disco rotorio).

Possiamo adesso procedere con la determinazione della massima velocità di traslazione e con il calcolo dell'autonomia sia

oraria che chilometrica.

Per quanto riguarda il calcolo delle curve di velocità massima di traslazione, vengono utilizzate contemporaneamente le curve della potenza disponibile al variare della quota e della potenza necessaria al variare della velocità calcolate per quota zero. Di seguito riportiamo la procedura da seguire:

Si sceglie la quota alla quale si vuole calcolare la velocità massima di traslazione orizzontale;

Si calcola ρ/ρ_0 mediante l'uso del grafico delle caratteristiche atmosferiche (ρ/ρ_0 in funzione della quota) o delle tabelle che riportano le caratteristiche dell'aria tipo internazionale;

Usando le curve in cui viene riportata la potenza disponibile al variare del-

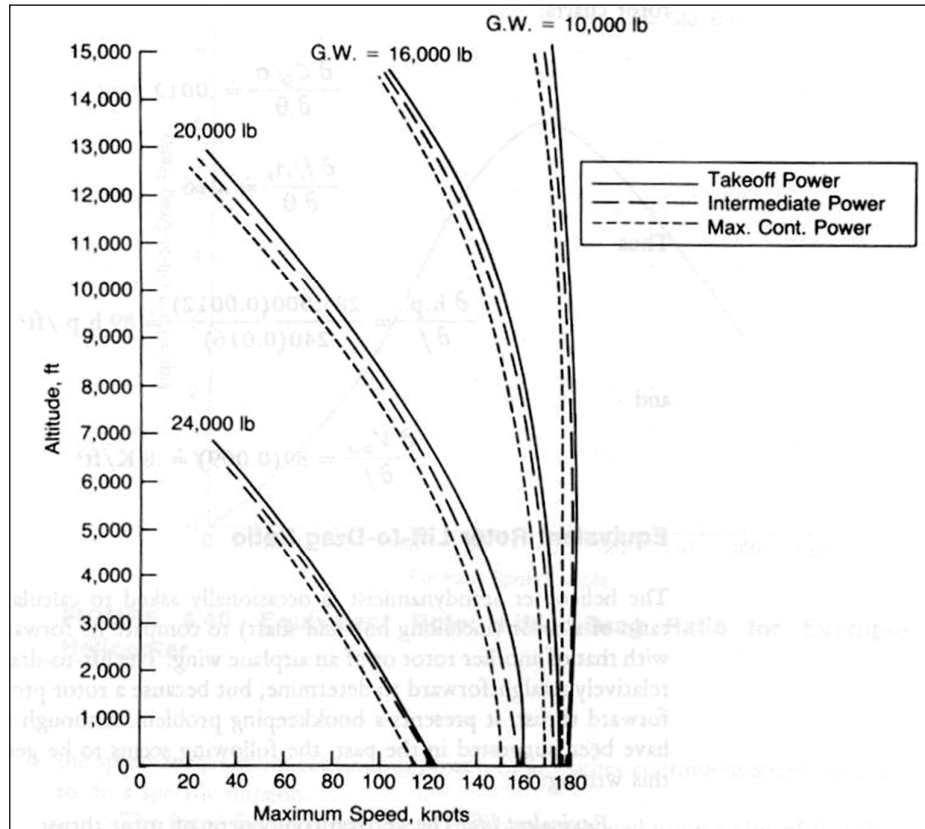


Figura 5.43

la quota, si calcola la massima potenza disponibile;

Si traslano le ascisse e le ordinate del diagramma della potenza necessaria

secondo $\frac{1}{\sqrt{\delta}}$;

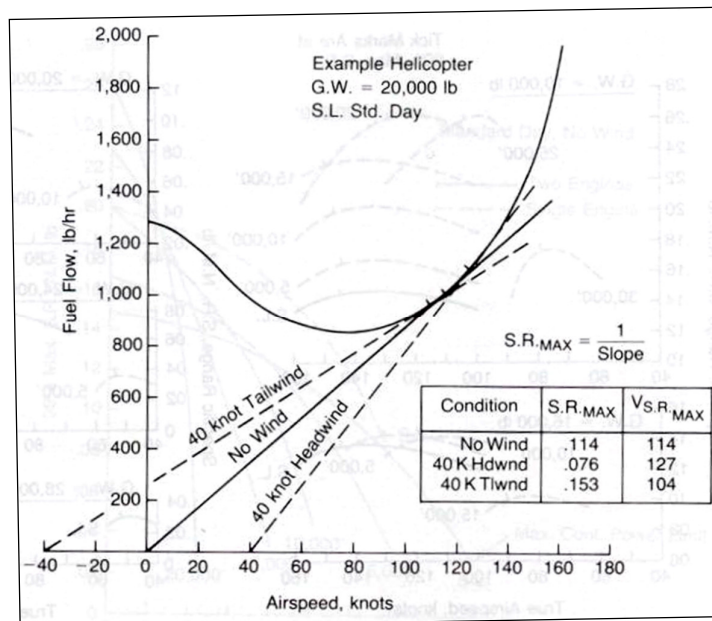
Si sovrappongono le curve della potenza richiesta e della potenza disponibile e si ottiene la velocità massima, questa è infatti il punto d'intersezione tra le due curve che è posto più a destra;

Il risultato di questa procedura è riportato nella seguente figura in cui è plottata, per vari pesi, la velocità in funzione della quota:

Dall'osservazione del grafico notiamo come, all'aumentare del peso dell'elicottero, sia la velocità massima, sia la massima quota di volo rettilineo uniforme orizzontale, si riducono. Inoltre possiamo osservare come si riduce la velocità massima, a parità di peso, con l'aumentare della quota.

Tutto ciò era facilmente intuibile in quanto, come già precedentemente detto, le potenze disponibili si riducono all'aumentare della quota in quanto la densità diminuisce.

La velocità che massimizza l'autonomia chilometrica può essere determinata utilizzando il seguente grafico in cui viene riportato il flusso di carburante in



funzione della velocità di volo per un elicottero preso ad esempio.

La velocità di massimo range è quella che viene individuata conducendo, dall'origine

Figura 5.44

del sistema di riferimento, la tangente alla curva del flusso di carburante.

Il RANGE SPECIFICO, indicato con $S.R.$, è invece la distanza percorsa consumando una unità di carburante. Esso è in genere espresso in miglia nautiche ($N.M.$) per libbra di carburante ed è determinato rapportando la velocità al suolo ed il flusso di carburante:

$$S.R. = \frac{Ground_speed}{Fuel_flow} \left[\frac{N.M.}{lb} \right] \quad (71)$$

Se è noto il grafico della potenza necessaria al variare della quota ed il grafico che lega il consumo di carburante del motore alla potenza erogata, è possibile determinare il range specifico come una funzione del peso, della quota e della velocità di volo. Di seguito ne riportiamo un esempio:

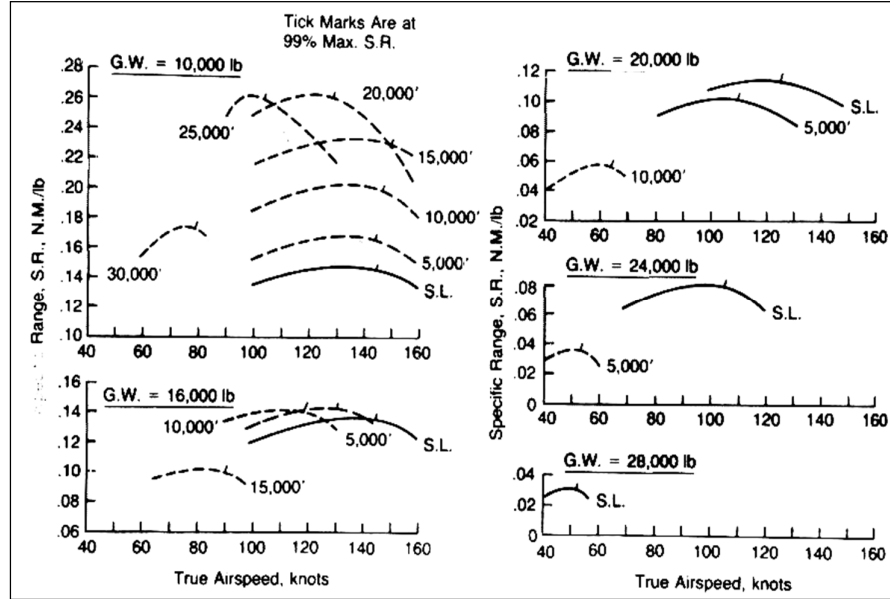


Figura 5.45

Osserviamo come, per bassi pesi, il massimo range specifico si ottiene a quota elevata mentre, per pesi elevati, si ottiene al livello del mare.

La velocità che massimizza il range corrisponde al massimo range specifico ma è di uso comune utilizzare la velocità posta alla destra del picco e che rappresenta il 99% del massimo range specifico.

La distanza percorsa alla velocità corrispondente al 99% del massimo range specifico, consumando una quantità fissata di carburante, può essere ottenuta integrando il range specifico rispetto al peso:

$$Dist = \int_{G.W. \cdot end}^{G.W. \cdot start} (S.R.) d(G.W.) \left[\frac{N.M.}{lb} \right] \quad (72)$$

Un'analisi molto importante che viene effettuata per ricevere indicazioni sulla utilizzabilità dell'elicottero come mezzo da trasporto è quella che prende il

nome di PAYLOAD-RANGE ANALYSIS. Per l'elicottero che fin qui è stato usato come esempio, abbiamo il seguente grafico:

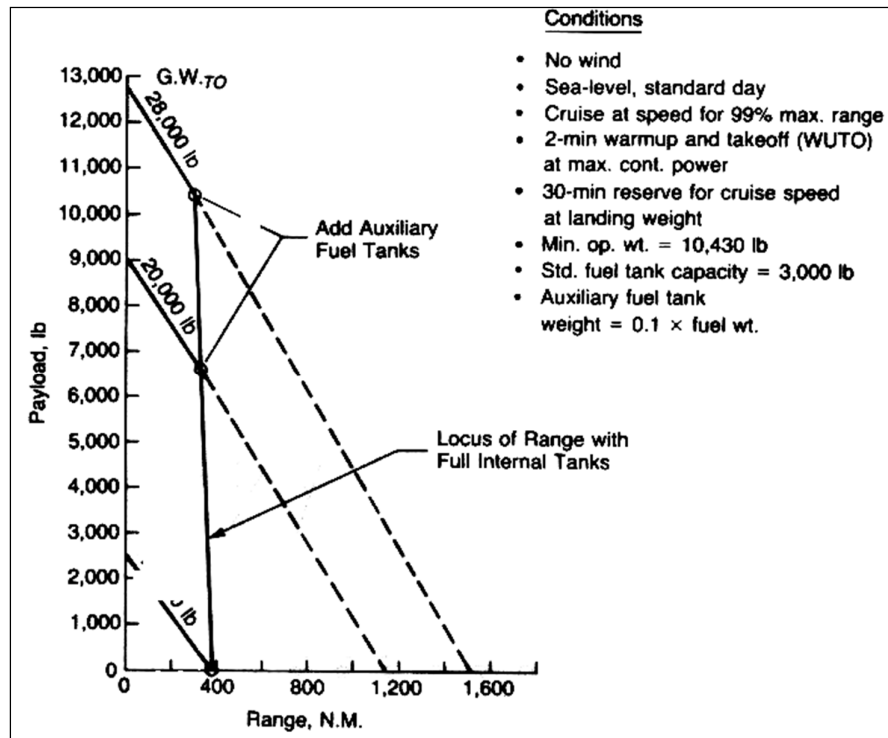


Figura 5.46

Le condizione alle quali è stato tracciato il grafico sono le tipiche condizioni per studi di questo tipo e sono:

- Assenza di vento;
- Quota pari al livello del mare e giorno standard;
- Volo alla velocità corrispondente al 99% del massimo range specifico;
- Warmup di 2 minuti e decollo alla massima potenza continua;
- Riserva di 30 minuti di volo al peso di atterraggio;
- Peso minimo di operazione pari a 10430lb;
- Capacità del serbatoio pari a 3000lb
- Peso dei serbatoi ausiliari pari al 10% del peso del carburante.

Le curve tracciate sono basate sulla valutazione di due equazioni fondamentali: l'equazione che permette di calcolare il range e quella che permette di calcolare il carico pagante:

$$Range = \int_{G.W._{landing}^{G.W._{T.O.}} (S.R.)d(G.W.) \text{ --- } [N.M.] \quad (73)$$

dove

$$G.W._{landing} = G.W._{T.O.} - (Carburante_consumato + WUTO_fuel) \text{ --- } [lb]$$

con $WUTO_fuel$ = carburante consumato per warmup e decollo

$$Payload = (G.W._{T.O.} - G.W._{min_OP}) - (Carburante_consumato + WUTO_fuel + Riserva + Peso_dei_serbatoi_ausiliari) \text{ --- } [lb] \quad (74)$$

Un altro parametro molto importante, specialmente per elicotteri militari da osservazione, è il LOITER FLIGHT. La migliore velocità per tale condizione di volo è quella che si trova in corrispondenza al minimo della curva del flusso di carburante in funzione della velocità. L'endurance a qualsiasi velocità è infatti una funzione della specific endurance che, come già detto, è l'inverso del flusso di carburante.

Il tempo di permanenza in loiter flight, consumando una data quantità di carburante, si ottiene integrando, rispetto al peso, la funzione specific endurance dell'elicottero preso in esame:

$$t = \int_{G.W._{end}^{G.W._{start}} (S.E.)d(G.W.) \text{ --- } [hr] \quad (75)$$

Questa equazione può anche essere utilizzata per tracciare le CURVE PAYLOAD-ENDURANCE che sono simili alle curve payload-range viste in precedenza.

Un ultimo aspetto molto importante del volo traslato è, per l'elicottero, la salita e la discesa effettuate traslando in avanti (climb in forward e descent in autorotation).

La potenza necessaria ad una salita su rampa, per dato angolo di rampa γ , può essere determinata dal grafico della potenza necessaria al variare della velocità modificando la superficie parassita equivalente per considerare la componente di peso disposta verso dietro lungo il sentiero di volo. La nuova f sarà pari a:

$$f_{c\limb} = f + \frac{G.W.\sin\gamma}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (76)$$

La potenza extra richiesta per salire, comparata a quella richiesta alla quota di volo, può essere calcolata dal rateo di cambiamento dell'energia potenziale. Per data velocità di salita (*Rate of Climb, R/C*) misurata in $[ft/min]$, l'esubero di potenza è pari a:

$$\Delta P_{c\limb} = \frac{(R/C)(G.W.)}{33000} \text{ --- } [h.p.] \quad (77)$$

Il miglior rateo di salita si ottiene in corrispondenza alla velocità alla quale il grafico della potenza necessaria presenta un minimo in quanto, a tale velocità, il divario tra potenza disponibile e potenza necessaria è massimo.

Nella discesa in autorotazione si può utilizzare lo stesso approccio. La variazione di energia potenziale deve essere abbastanza superiore rispetto alla salita in quanto bisogna supplire alla potenza richiesta in volo livellato. La velocità di discesa (*Rate of Descent in autorotation, R/D_{auto}*) è data da:

$$R/D_{auto} = \frac{33000 \cdot P_{-}[h.p.]}{G.W.} \quad (78)$$

La minima velocità di discesa si ottiene alla velocità di minima potenza richiesta per il volo livellato.

L'equazione della potenza richiesta è la seguente:

$$P = \frac{(G.W.)^2}{1100 \cdot \rho A V_e} + \frac{\rho V^3 f}{1100} + P_0 \text{ --- } [h.p.] \quad (79)$$

Da cui ricaviamo:

$$R/D_{auto} = \frac{30 \cdot D.L.}{\rho V_e} + \frac{30 \cdot \rho V^3 f}{G.W.} + \frac{33000 \cdot P_0}{G.W.} \text{ --- } [ft/min] \quad (80)$$

Tornando alla salita su rampa, di seguito riportiamo i grafici, tracciati per un elicottero preso ad esempio, in cui è riportato l'andamento della potenza richiesta al variare della velocità di avanzamento per vari valori di ratei di salita; e l'andamento della velocità di salita al variare della velocità di avanzamento per particolari valori di potenza.

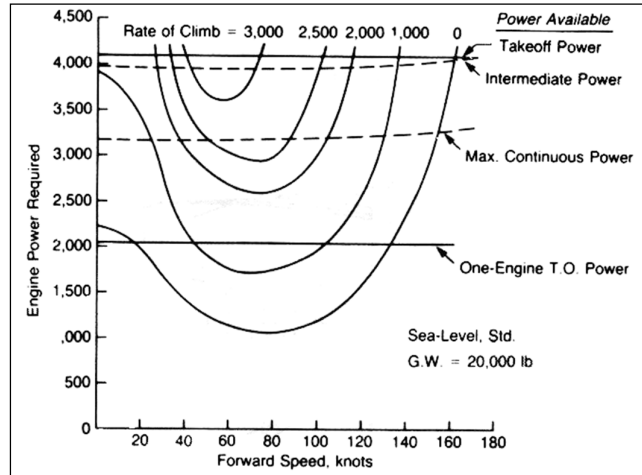


Figura 5.47

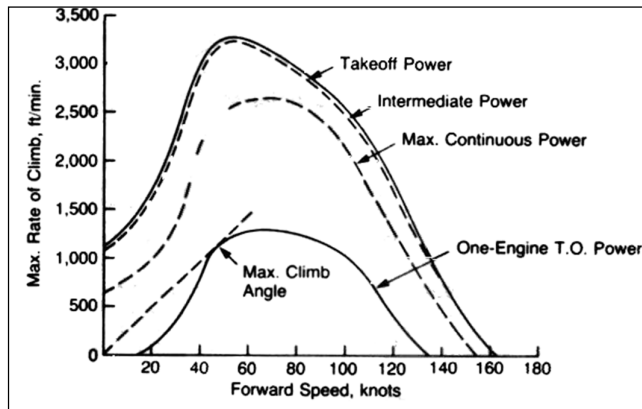


Figura 5.48

Dal secondo grafico sopra riportato è possibile calcolare il massimo angolo di rampa. Questo si ottiene facilmente tracciando, dall'origine, la tangente alle curve. È da notare, infine, come, nel caso in esame, per un elicottero bimotore sia possibile effettuare una salita verticale in quanto il massimo angolo di rampa è 90° .

Combinando opportunamente i dati in nostro possesso è possibile calcolare il tempo di salita e la distanza percorsa per salire ad una data quota.

CAPITOLO 6

CONTESTO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

6.1 Introduzione

I fattori che determinano lo sviluppo del trasporto a decollo verticale nel sistema di mobilità di un paese sono fondamentalmente quattro:

- a. l'innovazione tecnologica;
- b. lo sviluppo di strutture adeguate;
- c. l'adeguamento normativo;
- d. il rispetto dell'ambiente.

Tra questi l'innovazione tecnologica è stata certamente il fattore che, negli ultimi anni, ha avuto il maggiore sviluppo consentendo la produzione di velivoli, in particolare elicotteri, altamente sicuri e con un impatto ambientale sempre minore. L'innovazione tecnologica in campo elettronico, in particolare, ha consentito ai mezzi a decollo e atterraggio verticale la possibilità di effettuare voli strumentali consentendo il volo anche in condizioni di visibilità molto ridotte.

In questo contesto, la tecnologia satellitare permette in sicurezza il volo strumentale anche alle basse quote e garantisce una separazione dei flussi di traffico aereo meno restrittiva, con il conseguente aumento della capacità dello spazio aereo.

Tutto ciò ha evidenti ricadute sulla pianificazione e progettazione di un eliporto in quanto lo spazio aereo è uno dei vincoli fondamentali.

Attualmente gli elicotteri volano infatti al bassa quota, nelle zone densamente abitate, con le regole a vista e non sono previste rotte, corridoi o procedure

specifiche per il volo strumentale; inoltre, in prossimità degli aeroporti, i sentieri di avvicinamento e di discesa sono quelli utilizzati dagli aeroplani, sacrificando così la peculiare capacità degli elicotteri di poter atterrare e decollare in ristretti spazi.

A questo straordinario sviluppo tecnologico, quindi, non è seguito né uno sviluppo di strutture adeguate né un adeguamento normativo, che ancora ad oggi è incentrato sulla regolamentazione del volo mediante aerei ad ala fissa. Tutto ciò ha vanificato, quindi, gli sforzi fatti nel campo della tecnica.

È essenziale avere conoscenza dei punti critici dell'attuale normativa vigente, relativa alla disciplina del servizio di trasporto passeggeri, attraverso anche il confronto con gli altri paesi del mondo.

6.2 Regolamenti ICAO

In merito alle norme relative alla progettazione e alla certificazione degli eliporti si fa riferimento all'Annesso ICAO 14 (volume II). Al fine di soddisfare i requisiti riportati in tale regolamento è nato "Heliport Manual", mentre la circolare della FAA AC 150/5390-2B del 09/03/04 nasce per descrivere le questioni morfologiche e dimensionali, tecniche e di pubblico interesse che devono essere considerate nella pianificazione di un eliporto (si evidenzia che le circolari FFA non hanno carattere obbligatorio).

Da un'analisi generale si nota che tali norme non danno risalto alle peculiari caratteristiche dell'elicottero, in quanto esse sono spesso state definite per gli aeroporti.

In quest'ottica la comunità internazionale sta lavorando per distinguere la regolamentazione degli eliporti da quella tipica di un aeroporto.

In Italia questo è evidenziato dalla elaborazione, da parte dell'ENAC, della bozza del Regolamento ENAC per la costruzione e l'esercizio degli eliporti (20 Maggio 2009).

In ambito mondiale il gruppo di lavoro Heliport Design Working Group (HDWG), organismo in seno all'ICAO e composto da Australia, Canada, Francia, Germania, Norvegia, Gran Bretagna, Stati Uniti, International Coordinating

Council of Aerospace Industries Associations (ICCAIA), International Fèdération of Helicopter Associations (IFHA), International Association of Oil & Gas Producers (OGP), ha il compito di suggerire alcune modifiche da apportare all'Annesso 14 – Volume 2 per quanto concerne i requisiti degli eliporti in quanto basati su procedure operative che fanno riferimento a limiti operativi che gli elicotteri moderni hanno superato.

6.2.1 Il lavoro dell'Heliport Design Working Group

L'Heliport Design Working Group, esaminando i Flight Manual di molti elicotteri, ha fatto notare come i requisiti vigenti nell'attuale regolamento non siano più validi e spesso siano obsoleti. Ad esempio, non è più vero che gli elicotteri necessitano di un percorso in salita per accelerare prima del volo orizzontale poiché possono utilizzare “profili verticali”.

Oltre a ciò viene suggerita una semplificazione della matrice di Obstacle Limitation Surfaces (OLS), definita con gli stessi criteri con cui si costruiscono gli aeroporti, al fine di renderla meno restrittiva.

Viene inoltre posto in evidenza come, a differenza degli aerei, gli elicotteri multiturbina hanno la possibilità di operare in più di una classe di performance e, in particolare, a seconda del proprio peso, del numero di passeggeri e delle condizioni ambientali, possono anche operare in ognuna delle tre classi individuate.

La revisione dell'Annesso 14 introduce inoltre il Visual Segment Surface (VSS) che è compreso negli eliporti nei quali è stata sviluppata una procedura strumentale. In merito a questi ultimi argomenti nelle varie legislazioni si trovano delle piccole differenze sulle pendenze e lunghezze delle superfici di ostacoli e sulle procedure strumentali.

Si vedrà in seguito come siano presenti differenze tra le varie normative internazionali come ad esempio la legislazione francese e quella canadese che, rispetto alla normativa italiana, definiscono le superfici degli ostacoli in funzione delle tre categorie di elicotteri ed hanno requisiti meno restrittivi.

6.3 Inquinamento acustico

Nel corso dell'ultimo decennio, come precedentemente accennato, la versatilità e l'utilità dell'elicottero è stata pienamente dimostrata. La capacità di atterrare e di decollare in un'area limitata e di prestarsi quale mezzo di trasporto cittadino veloce e confortevole hanno fatto sì che l'elicottero possa essere preso in considerazione come mezzo di trasporto urbano.

Tuttavia, malgrado queste evidenti qualità, esso ha suscitato una reazione fortemente emotiva e per lo più avversa da parte della collettività per le esternalità prodotte in termini di inquinamento atmosferico e acustico, benché i livelli di rumore da esso prodotto risultino inferiori a quelli di altri comuni mezzi di trasporto e di lavoro.

Per quanto riguarda l'inquinamento acustico, le industrie elicotteristiche che di tutto il mondo hanno iniziato una ricerca volta a rendere i loro prodotti più silenziosi e quanto più accettabili alla società.

Recentemente l'ICAO ha proposto una serie di regolamenti sul rumore degli elicotteri. Benché tali regolamenti debbano venire applicati solo agli elicotteri di nuovo progetto, la maggior parte di quelli attualmente esistenti è stata sottoposta a test di rumore usando le procedure di certificazione ICAO.

Il problema dell'inquinamento acustico condiziona fortemente la localizzazione dell'eliporto.

Ai fini dello studio dell'impatto acustico, si può fare riferimento alla normativa vigente sui livelli di fonoinquinamento nelle aree aeroportuali.

L'indice di valutazione del rumore aeroportuale, ai fini della determinazione delle curve di isolivello, è il *livello di valutazione del rumore aeroportuale* (LVA).

Quest'ultimo è definito dalla seguente espressione:

$$L_{VA} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{\frac{L_{VAj}}{10}} \right] dB(A)$$

in cui N è il numero di giorni del periodo di osservazione del fenomeno e L_{VAj} è il valore giornaliero del livello di valutazione aeroportuale.

Il valore giornaliero del livello di valutazione del rumore aeroportuale considera tutte le operazioni a terra e di sorvolo che si manifestano nell'arco della giornata compreso tra le ore 00:00 e le 24:00 e si determina con la relazione sottostante:

$$L_{VAj} = 10 \log \left[\frac{17}{24} 10^{\frac{L_{VA_d}}{10}} + \frac{7}{24} 10^{\frac{L_{VA_n}}{10}} \right] dB(A)$$

dove L_{VA_d} è il livello di rumore durante il periodo diurno (6:00 – 23:00) e L_{VA_n} è il livello di rumore durante il periodo notturno (23:00 – 6:00).

Il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo diurno si determina con la relazione seguente:

$$L_{VA_d} = 10 \log \left[\frac{1}{T_d} \sum_{i=1}^{N_d} 10^{\frac{SEL_i}{10}} \right] dB(A)$$

in cui $T_d = 61200$ s è la durata del periodo diurno, N_d è il numero totale dei movimenti degli aeromobili in detto periodo, SEL_i è il livello dell'i-esimo evento sonoro associato al singolo movimento. Il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo diurno è determinato dalla relazione seguente:

$$L_{VA_n} = 10 \log \left[\frac{1}{T_n} \sum_{i=1}^{N_n} 10^{\frac{SEL_i}{10}} + 10 \right] dB(A)$$

in cui $T_n = 25200$ s è la durata del periodo notturno, N_n è il numero totale dei movimenti degli aeromobili in detto periodo, SEL_i è il livello sonoro dell'i-esimo evento associato al singolo movimento.

Il livello dell'i-esimo evento sonoro associato al singolo movimento di aeromobili è determinato secondo la seguente relazione:

$$SEL_i = \left(L_{Aeq, T_i} + 10 \log \frac{T_i}{T_0} \right) dB(A)$$

in cui $T_0 = 1$ s è il tempo di riferimento e T_i la durata dell'evento in cui il livello LA risulta superiore alla soglia LAF_{max} 10 dB, mentre L_{Aeq, T_i} è il livello continuo equivalente di pressione sonora dell'i-esimo evento sonoro.

6.4 Inquinamento atmosferico

La valutazione dell'inquinamento atmosferico associato all'esercizio di una infrastruttura aeroportuale può essere effettuata tramite la stima delle emissioni prodotte dalle diverse attività presenti.

Una metodologia attendibile di stima delle emissioni, nei pressi del suolo, indotte dagli aeromobili, è desumibile dalla letteratura internazionale (US EPA - Environmental Protection Agency e FAA Federal Aviation Administration).

La valutazione delle emissioni degli aeromobili è eseguita utilizzando specifici *fattori di emissione* espressi in termini di massa inquinante emessa per unità di combustibile, relativi alla condizione di spinta massima del motore, ricavati da misure sperimentali al banco sui diversi modelli dei motori.

Il ciclo standard di atterraggio decollo prevede quattro fasi di durata prefissata (atterraggio, decollo, salita e movimento a terra) a cui corrispondono potenze erogate dal motore predefinite e consumi di combustibile caratteristici per ogni tipo di motore.

Per ognuna delle quattro fasi predefinite che costituiscono il ciclo standard, i fattori di emissione sono espressi come percentuale dell'emissione corrispondente a quella di massima spinta e la stima dell'emissione si ottiene pertanto dal prodotto tra il fattore di emissione ed il consumo di combustibile. I risultati della singola valutazione sono le emissioni dei diversi inquinanti per ogni fase del ciclo di atterraggio-decollo effettuato da ogni motore montato sui veicoli.

Le strutture aeroportuali sono responsabili dell'emissione di un gran numero di inquinanti. In generale, il funzionamento della piattaforma aerea può essere diviso in diverse fonti di inquinamento atmosferico.

I motori d'aereo ed elicottero emettono principalmente ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO), composti organici volatili (COV), biossido di zolfo (SO_2) e polveri (PM). Emettono anche anidride carbonica (CO_2) e acqua (H_2O). Le emissioni di ossidi di azoto e delle particelle in sospensione sono preponderanti nelle fasi di decollo e di salita, mentre quelle di monossido di carbonio e di idrocarburi prevalgono al momento dell'avanzamento a terra.

Le emissioni al suolo risultano direttamente dal funzionamento dell'aeroporto: fonti di inquinamento sono i gruppi elettrogeni, i gruppi ausiliari di potenza, i compressori, gli elevatori, i tappeti per i bagagli, le prove motori, i veicoli di rampa, le centrali di produzione di energia, le dotazioni per lavori, le dotazioni per la manutenzione, la conservazione del carburante, la conservazione dei prodotti vari (solventi, pitture, prodotti di pulizia interna etc.), le zone di contenimento delle acque scure etc.

A tutte queste fonti bisogna aggiungere il traffico stradale indotto per servire l'eliporto.

La valutazione dell'inquinamento atmosferico associato all'esercizio di una infrastruttura aeroportuale può essere effettuata tramite la stima delle emissioni prodotte dalle diverse attività presenti. In generale la metodologia per stimare le emissioni è la seguente:

$$E_i = A \times FE_i$$

dove

E_i rappresenta l'emissione dell'inquinante i ;

A è un opportuno indicatore dell'attività correlato con le quantità emesse;

FE_i è il fattore di emissione per l'inquinante i e l'attività espressa da A , cioè la massa dell'inquinante emessa per una quantità unitaria dell'indicatore.

Una metodologia attendibile di stima delle emissioni, nei pressi del suolo, indotte dagli aeromobili, è desumibile dalla letteratura internazionale (US EPA – Environmental Protection Agency e FAA Federal Aviation Administration). Per ottenere tale stima, un buon indicatore dell'attività del singolo aeromobile è il cosiddetto ciclo di atterraggio e decollo (LTO – Landing and TakeOff cycle), che include tutte le attività e operazioni di un aereo al di sotto del limite dei 1000 m, che corrisponde all'altezza standard della zona di rimescolamento. La valutazione delle emissioni degli aeromobili è eseguita utilizzando specifici fattori di emissione (introdotti precedentemente) espressi in termini di massa inquinante emesso per unità di combustibile, relativi alla condizione di spinta massima del motore, ricavati da misure sperimentali al banco sui diversi modelli dei motori. Il ciclo standard di atterraggio-decollo prevede quattro fasi di durata prefissata (atterrag-

gio, decollo, salita e movimento a terra) a cui corrispondono potenze erogate dal motore predefinite e consumi di combustibile caratteristici per ogni tipo di motore. Per ognuna delle quattro fasi predefinite che costituiscono il ciclo standard di atterraggio-decollo, i fattori di emissione sono espressi come percentuale dell'emissione corrispondente a quella di massima spinta e la stima dell'emissione si ottiene pertanto dal prodotto tra il fattore di emissione ed il consumo di combustibile. I risultati della singola valutazione sono le emissioni dei diversi inquinanti per ogni fase del ciclo di atterraggio-decollo effettuato da ogni motore montato sui veicoli.

Le strutture aeroportuali sono responsabili dell'emissione di un gran numero di inquinanti. Alcuni di essi sono strettamente legati alle attività che comportano una qualsiasi combustione: ozono (non emesso direttamente, ma formato dall'emissione dei suoi precursori), monossido di carbonio, ossidi di azoto, composti organici volatili e materiale particolato. In generale, il funzionamento della piattaforma aerea può essere diviso in diverse fonti di inquinamento atmosferico:

I motori d'aereo ed elicottero emettono principalmente ossidi di azoto (NOX), monossido di carbonio (CO), composti organici volatili (COV), biossido di zolfo (SO₂) e polveri (PM). Emettono anche anidride carbonica (CO₂) e acqua (H₂O). Le emissioni di ossidi di azoto e delle particelle in sospensione sono preponderanti in fase di decollo e di salita, mentre le emissioni di monossido di carbonio e di idrocarburi sono preponderanti al momento dell'avanzamento a terra.

Le emissioni al suolo risultano direttamente dal funzionamento dell'aeroporto: i gruppi elettrogeni, i gruppi ausiliari di potenza, i compressori, gli elevatori, i tappeti per i bagagli, le prove motori, i veicoli di servizio, le centrali di produzione di energia, le dotazioni per lavori, le dotazioni per la manutenzione, la conservazione del carburante, la conservazione di prodotti vari (solventi, pitture, prodotti di pulizia interna, prodotti di manutenzione degli spazi verdi), le zone di contenimento delle acque scure, ecc.

A tutte queste fonti bisogna aggiungere il traffico stradale (veicoli personali, veicoli di nolo, taxi, bus, navette...) indotto per servire l'aeroporto (passeggeri e personale della piattaforma).

All'interno dell'Atmospheric Emission Inventory Guidebook dell'EEA, nel capitolo dedicato al trasporto aereo, sono riportate alcune utili osservazioni sul contributo emissivo dovuto agli aeroporti: il contributo delle emissioni aeroportuali di CO₂ è stimato pari a circa il 2% sul totale. Questo contributo relativamente piccolo può essere spiegato in base al fatto che la maggior parte delle emissioni degli aeromobili viene liberata ad alta quota.

6.5 Regolamenti internazionali

Al fine di regolamentare tutte le operazioni del trasporto commerciale di persone e di merci, la JAA ha emanato un complesso di norme riunite nella JAR OPS 3.

Tale regolamento è diviso in due sezioni:

sezione 1: contiene le norme a cui devono attenersi gli operatori in possesso del Certificato di Operatore Aereo (COA). Questa sezione a sua volta è divisa in 19 sottoparti, in ognuna delle quali sono raggruppate le norme la cui applicazione è richiesta per settori o gruppi di argomenti.

sezione 2: contiene gli Acceptable Means of Compliance (AMC) che illustrano uno o più metodi attraverso i quali è possibile soddisfare le norme e comprenderne correttamente il reale significato.

Requisito essenziale della JAR OPS 3 è la realizzazione, da parte operatore aereo, di un sistema qualità e la designazione di un gestore della qualità che controlli tali procedure e risponda direttamente all'Autorità per la sicurezza delle operazioni e l'aeronavigabilità degli aeromobili.

Il gestore della qualità, in veste di responsabile, deve individuare, quando necessarie, le azioni correttive da intraprendere al fine di garantire la massima sicurezza. A tal fine il gestore nomina i responsabili (Post Holder) di ciascuna delle aree d'applicazione del quality system per le attività di specifica competenza:

- operazioni volo;
- addestramento equipaggi;
- manutenzione;
- operazioni a terra.

Un'importante figura del sistema qualità è l'auditor, che ha il compito di effettuare delle verifiche nelle linee aeree operative con lo scopo di monitorare lo svolgimento dei processi così come progettati, segnalando eventuali disfunzioni o mancanze gravi direttamente al gestore della qualità per le azioni correttive necessarie.

L'applicazione di tale regolamento è stata resa obbligatoria a seguito del recepimento, in tutti gli stati membri JAA, delle suddette norme. A tal riguardo per motivi di uniformità sono state assorbite integralmente con l'accordo di adesione e non possono essere attuate varianti nazionali anche se, in realtà, alcune piccole deroghe all'applicazione completa delle norme possono essere richieste ed accordate dalla JAA.

6.5.1 Deroghe concesse dalla JAA alla Svizzera

Il Dipartimento federale svizzero dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle telecomunicazioni (DATEC) ha emesso un'ordinanza (14 Ottobre 2008) che disciplina il trasporto commerciale di persone e merci con elicotteri da parte di imprese con sede in Svizzera e in possesso di un'autorizzazione di esercizio secondo l'articolo 27 LNA.

Tale ordinanza prevede delle deroghe alla norma stessa sia per quanto riguarda le operazioni del servizio medico d'emergenza (HEMS) sia per quanto concerne le operazioni da parte di servizi elicotteristici in generale.

In particolare la sezione 5 dell'Annesso 2 disciplina le deroghe per i voli di prossimità (VFR solo nelle ore diurne). Di particolare interesse è il primo comma di tale articolo secondo il quale, in deroga all'appendice 1 al paragrafo JAR-OPS 3, sottoparte B, 3.005 (g), sezione (a), tutti i voli in elicottero al di sopra del territorio svizzero sono considerati "voli di prossimità".

Di particolare rilievo è, inoltre, la sezione 7 dell'Annesso 2 che disciplina i voli in elicottero in partenza e in arrivo da e su aree di atterraggio d'interesse pubblico, appendice 1 al paragrafo JAR-OPS 3, sottoparte B, 3.005(i). In particolare in tale sezione si deroga quanto segue:

- le sezioni (c) e (d) non sono applicabili alle operazioni HEMS con elicotteri appartenenti alle classi di prestazione 2 e 3;
- le sezioni (c), (d) ed (e) non sono applicabili alle operazioni HEMS con elicotteri appartenenti alla classe di prestazione 1.

L'Autorità civile svizzera (OFAC – Office Fédéral de l'Aviation Civile) accorda anche deroghe ad altre sottoparti della JAR OPS 3 se:

- motivi validi giustificano le eccezioni come, per esempio, per tenere in considerazione l'evoluzione tecnica;
- motivi tecnici ed operativi giustificano eccezioni;
- il manuale d'esercizio prevede regolamentazioni equivalenti in termini di sicurezza.

Sono presenti anche delle deroghe relative alle sub-parti F-G-H-I (dove sono definiti requisiti per le prestazioni generali e specifiche delle tre categorie di elicotteri) che riguardano l'applicazione delle singole classi di prestazioni e, all'interno di queste, la superficie d'atterraggio, la durata di esposizione, l'assenza di ostacoli e le procedure di atterraggio e decollo.

Ancora deroghe possono essere applicate ai programmi di formazione del personale di bordo (sub-parte N e O), che devono essere comunque approvati dall'autorità civile svizzera.

6.6 La normativa italiana

L'autorità italiana di regolazione tecnica, certificazione e vigilanza nel settore dell'aviazione civile, avendo recepito le prescrizioni contenute nell'annesso 14 ICAO, ha promulgato nel 2009 una bozza del *“Regolamento per la costruzione e esercizio degli eliporti”*, un manuale tecnico contenente tutte le indicazioni progettuali e operative, al fine di garantire al meglio la costruzione e lo sviluppo degli eliporti e delle elisuperfici su tutto il territorio nazionale.

Le prescrizioni contenute all'intero del Regolamento riguardano essenzialmente la certificazione dell'eliporto, le caratteristiche fisiche di tale infrastruttura, gli ostacoli e le limitazioni, gli aiuti visivi, le operazioni necessarie per man-

tenere l'eliporto conforme ai requisiti ENAC, i piani d'emergenza e di manutenzione, la prevenzione e la gestione dei rischi.

La struttura di questo testo è del tutto simile a quella del "Regolamento per la costruzione e l'esercizio degli aeroporti".

Tale documento contiene anche un glossario che precisa le definizioni delle principali componenti di una infrastruttura adibita alla movimentazione, all'atterraggio e al decollo degli elicotteri. Nel seguito vengono riportate le prescrizioni essenziali che permettono di identificare un eliporto.

6.6.1 Requisiti di un eliporto

In ottemperanza alle indicazioni del Regolamento, per "*Eliporto*" si intende *"un aerodromo o un'area determinata su una struttura da utilizzare completamente o in parte per l'arrivo, la partenza e movimenti a terra degli elicotteri impiegati in attività di trasporto commerciale ove ricorra almeno una delle seguenti condizioni:*

- *che sia in elevazione;*
- *che sia su piattaforme off-shore o a bordo di nave;*
- *che sia base o destinazione sanitaria;*
- *ove si svolgano operazioni strumentali o in condizioni IMC (condizioni metereologi che per il volo strumentale);*
- *ove si svolgano con continuità operazioni di trasporto commerciale con una media giornaliera di movimenti uguale o superiore a un tot nel semestre di riferimento con maggiore intensità di traffico".*

Una prima classificazione degli eliporti avviene secondo l'ubicazione ed il tipo di servizio che viene offerto all'utenza. In base al primo requisito, si considerano due grandi categorie:

- a. ***eliporti terrestri***, utilizzati prevalentemente per il trasporto pubblico o per servizi di pubblica assistenza;
- b. ***eliporti su navi o su piattaforme off-shore***, per uso quasi sempre privato.

Le strutture che devono essere necessariamente garantite per un buon funzionamento di un eliporto per traffico passeggeri medio devono essere:

- a. un' *area di manovra o piattaforma* per le operazioni di decollo e di atterraggio e movimento in pista;
- b. un' *area di carico e scarico o di parcheggio* che viene raggiunta direttamente dall'elicottero dopo l'atterraggio per le operazioni di sbarco dei passeggeri e di scarico delle merci e per quelle successive di imbarco e carico; il numero di aree di parcheggio dipende evidentemente dal numero di mezzi che si prevede debbano occuparle contemporaneamente in fase operativa; le aree di parcheggio sono di norma ubicate vicino la zona per le aerolinee e per i servizi al pubblico;
- c. un' *area passeggeri*, all'interno della quale si trovano sale d'attesa, biglietterie, uffici, servizi igienici, eventuale zona doganale e di sicurezza, gates per l'imbarco e lo sbarco e zona bagagli;
- d. un' *area di servizio e di manutenzione*, sempre necessaria nei grandi complessi, contenente magazzini e posti per il ricovero per almeno un elicottero;
- e. *servizio rifornimento carburante*, studiato in modo tale da minimizzare il tempo necessario per rifornire i singoli elicotteri senza venir meno dal rispetto dei rigorosi criteri di sicurezza.

L'area di manovra, di forma rettangolare e di dimensioni variabili in funzione della classe di prestazione dell'elicottero di progetto, va orientata in modo tale che il suo lato maggiore sia allineato con la direzione del vento dominante; sebbene gli elicotteri possano operare con ratei di vento trasversale molto più elevate rispetto agli aeromobili ad ala fissa, la zona di atterraggio e decollo dovrebbe essere orientata preferibilmente quanto più possibile in direzione tale da permettere le operazioni controvento.

Al momento sembra che le caratteristiche degli elicotteri relative al vento trasversale saranno tali da permettere, nella maggioranza dei casi, la pista di atterraggio e decollo sia orientata solamente in una direzione; solo nell'ipotesi di par-

ticolare regime di venti occorrerà prevedere due o più aree di manovra opportunamente disposte, oppure sarà necessario ricorrere ad un'area circolare.

Per motivi di sicurezza, l'area di manovra è separata dalle altre costituenti l'area eliportuale, lungo l'asse maggiore, da una fascia detta area sgombra o area di sicurezza.

Dal punto di vista operativo, con opportuna organizzazione, considerando le attuali procedure di controllo, con 4 o 5 zone parcheggio ed una piattaforma è possibile raggiungere come limite non superabile 40 operazioni all'ora con un movimento di circa 600 passeggeri/h.

6.6.2 Caratteristiche fisiche di un eliporto

Un eliporto a livello del suolo deve avere almeno una *Final Approach and Take Off Area* (FATO) ovvero un'area definita sulla quale viene completata la fase finale della manovra di avvicinamento al volo stazionario o all'atterraggio e dalla quale viene iniziata la manovra di decollo.

Una FATO può essere situata sopra o vicino alla strip della pista d'atterraggio o della via rullaggio di un aeroporto.

Le dimensioni di una FATO devono essere tali che:

- per un eliporto destinato ad essere utilizzato da elicotteri con prestazioni in Classe 1, come specificato nel manuale di volo, eccetto che, in mancanza di indicazioni sulla larghezza, questa deve essere non inferiore ad 1.5 volte la lunghezza/larghezza fuori tutto, quale delle due è la maggiore, del più lungo/largo elicottero che si prevede l'eliporto debba servire;
- per un eliporto sull'acqua destinato ad essere utilizzato da elicotteri con prestazioni in Classe 1, come prescritto in a) sopra, più il 10%;
- per un eliporto destinato ad essere utilizzato da elicotteri con prestazioni in Classe 2 e 3, di sufficiente dimensione e forma a contenere un'area entro la quale può essere disegnato un cerchio di diametro non inferiore ad 1.5 volte la lunghezza/larghezza fuori tutto,

quale delle due è maggiore, del più lungo/largo elicottero che si prevede l'eliporto debba servire;

- per un eliporto sull'acqua destinato ad essere utilizzato da elicotteri con prestazioni in Classe 2 e 3, di sufficiente dimensione e forma a contenere un'area entro la quale può essere disegnato un cerchio di diametro non inferiore ad 2 volte la lunghezza/larghezza fuori tutto, quale delle due è maggiore, del più lungo/largo elicottero che si prevede l'eliporto debba servire;

La pendenza totale in ogni direzione della FATO non deve eccedere il 3% ed inoltre deve essere resistente al “*downwash*” del rotore, priva di irregolarità che potrebbero compromettere la sicurezza nelle manovre di decollo e di atterraggio e deve possedere caratteristiche di portanza tali da sopportare un decollo abortito di un elicottero che opera con prestazione in classe 1; deve inoltre fornire effetto suolo.

Su un eliporto deve essere presente almeno un'area di decollo e sollevamento da terra. Quest'ultima, definita come *Touchdown and Lift Off Area* (TLOF), può non essere situata all'interno della FATO, ma deve avere dimensioni sufficienti a contenere un cerchio di diametro 1,5 volte la lunghezza o la larghezza, quale delle due è maggiore, del carrello del più grande elicottero che l'area può servire.

Le pendenze di una TLOF devono essere sufficienti a prevenire l'accumulo d'acqua sulla superficie dell'area, ma non devono eccedere il 2% in ogni direzione. Una TLOF deve inoltre essere in grado di sopportare il traffico degli elicotteri che l'area deve servire.

La FATO deve essere circondata da un'area di sicurezza. Un'area di sicurezza intorno ad una FATO che si usa in condizioni meteo per volo a vista (VMC) deve estendersi al di là dei bordi della FATO per una distanza di almeno 3 m o 0,25 volte la lunghezza/larghezza fuori tutto, quale delle due è maggiore, del più lungo/largo elicottero che si prevede opererà nell'eliporto.

Un'area di sicurezza che circonda una FATO destinata per essere utilizzata per operazioni strumentali (IMC) si estenderà lateralmente ad una distanza di al-

meno di 45 m da ogni lato della linea centrale e longitudinalmente ad una distanza di almeno di 60 m oltre l'estremità della FATO, come mostrato in Figura 6.1.



Figura 6.49: Area di sicurezza per operazioni strumentali

Nell'area di sicurezza non sono ammessi oggetti se non quelli frangibili che, per la loro funzione, devono essere collocati su quell'area. Nessun oggetto mobile è consentito sull'area di sicurezza durante le operazioni dell'elicottero.

Nella Figura 6.2, è rappresentato lo schema delle caratteristiche geometriche richieste agli oggetti contenuti all'interno dell'area di sicurezza: questi ultimi non devono essere più alti di 25 cm se posti sul perimetro della FATO né forare un piano fittizio che ha origine 25 cm sopra il bordo della FATO e si estende all'eterno di essa con una pendenza del 5%.

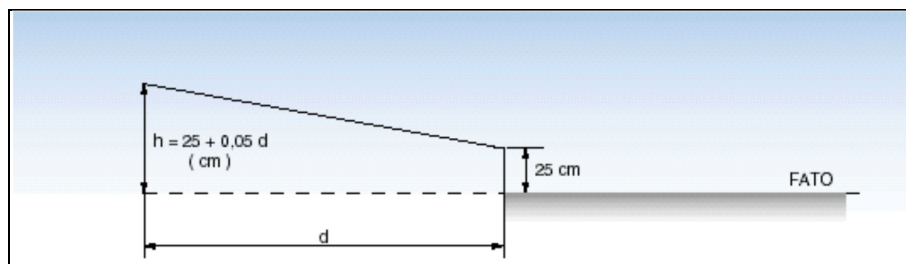


Figura 6.50: Zona libera da oggetti nella FATO e all'esterno di essa

La superficie dell'area di sicurezza non deve superare la pendenza del 4% (positiva) verso l'esterno dal bordo della FATO. Particolare cura deve essere posta nella predisposizione della superficie dell'area di sicurezza, la quale deve essere trattata in modo tale da non permettere il sollevamento di detriti dovuti al flusso del rotore. Inoltre la superficie dell'area di sicurezza deve essere continua con questa e in grado di sopportare, senza danni strutturali, gli elicotteri che l'eliporto intende servire.

Una via di rullaggio a terra per elicotteri è intesa a permettere operazioni di movimenti in superficie di elicotteri muniti di ruote sotto la spinta della propria potenza.

La larghezza di una via di rullaggio a terra per elicotteri non deve essere inferiore ai valori indicati in Tabella 6.1.

Tabella 6.19: Larghezza delle vie di rullaggio

Lunghezza del carrello principale	Larghezza della via di rullaggio
$L < 4,5 \text{ m}$	7,5 m
$4,5 \text{ m} \leq L < 6 \text{ m}$	10,5 m
$6 \text{ m} \leq L < 10 \text{ m}$	15 m
$L \geq 10 \text{ m}$	20 m

La pendenza longitudinale di una via di rullaggio a terra per elicotteri non deve eccedere il 3%. Essa deve essere in grado di sopportare il traffico di elicotteri che la stessa intende servire e inoltre deve essere fornita di banchine che si estendano simmetricamente ai lati della stessa per almeno la metà della massima larghezza fuori tutto degli elicotteri che la pista deve servire. La via di rullaggio a terra per elicotteri e le sue banchine (shoulders) debbono assicurare un rapido drenaggio, ma la pendenza laterale della via di rullaggio a terra per elicotteri non deve superare il 2%.

Così come per la pista, la superficie delle banchine di una via di rullaggio a terra deve essere resistenti al flusso in basso del rotore.

La separazione tra una via di rullaggio a terra per elicotteri ed un'altra via di rullaggio a terra, una via di rullaggio in volo, un oggetto o piazzola per elicotteri non devono essere inferiori alle dimensioni riportate in Tabella 6.2.

Tabella 6.20: Distanze di separazione tra vie di rullaggio a terra e in volo per elicotteri

	Via di rullaggio a terra per elicotteri	Via di rullaggio in volo per elicotteri	Oggetto	Piazzola per elicottero
Via di rullaggio a terra per elicotteri	2 (tra i bordi)	4 (tra le linee centrali)	1 (dal bordo all'oggetto)	2 (tra i bordi)
Via di rullaggio in volo per elicotteri	4 (tra le linee centrali)	4 (tra le linee centrali)	1 (dalla linea centrale all'oggetto)	1 (dalla linea centrale al bordo)

Le vie di rullaggio in volo sono intese a permettere i movimenti di un elicottero sopra la superficie del suolo ad un'altezza generalmente associata all'effetto suolo e ad una velocità al suolo inferiore ai 37 km/h.

La larghezza di una via di rullaggio in volo deve essere almeno pari a 2 volte la maggiore larghezza fuori tutto dell'elicottero che la via deve servire.

La superficie di una via di rullaggio in volo deve inoltre essere resistente al flusso in basso del rotore e consentire atterraggi di emergenza, assicurando anche l'effetto suolo.

La pendenza di una via di rullaggio in volo non deve eccedere il 10% e la pendenza longitudinale il 7%. In ogni caso, le pendenze non devono eccedere quelle previste dalle limitazioni per l'atterraggio degli elicotteri che la pista è intesa servire.

Quando una FATO si trova vicino ad una pista di volo o una via di rullaggio e sono previste operazioni simultanee di volo VMC, la distanza di separazione tra il bordo della pista e quello della FATO non deve essere inferiore a quella riportata nella tabella 3.

Una FATO non deve comunque trovarsi vicino all'intersezione di due piste di rullaggio o punti d'attesa dove il flusso dei motori a reazione potrebbe creare turbolenza e vicino alle aree dove è possibile la creazione di vortici dovuta all'attività di aeroplani.

Tabella 6.21 - Distanze minime di separazione per una FATO

Massa dell'elicottero	Distanza fra il bordo della FATO e quello della pista di volo o di rullaggio
fino a (ma non inclusi) 2720 kg	60 m
da 2720 fino a (ma non inclusi) 5760 kg	120 m
da 5760 fino a (ma non inclusi) 100.000 kg	180 m
da 100.000 kg in poi	250 m

La normativa ENAC fa riferimento anche alle rotte di transito in volo e ai piazzali.

Una rotta di transito in volo è intesa a permettere i movimenti di un elicottero sopra la superficie, normalmente ad una altezza non superiore a 30 m sul livello del suolo e ad una velocità non superiore a 37 km/h.

La sua larghezza non deve essere inferiore a 7 volte il diametro del rotore del più grande elicottero che è intesa a servire quando si prevede che la rotta sia utilizzata solo di giorno oppure 10 volte il diametro del rotore quando la rotta deve essere utilizzata anche di notte.

Ogni variazione nella direzione della linea centrale di una rotta di transito in volo non deve eccedere i 120° ed essere progettata in modo tale da non richiedere un raggio di virata inferiore a 270 m.

Le rotte di transito in volo devono essere tali da permettere atterraggi in autorotazione o con un motore in avaria, tali che, come minimo requisito, minimizzino il ferimento di persone a terra o sull'acqua e i danni alle proprietà.

Le specifiche riguardanti i piazzali sono le stesse (ad eccezione di alcune modifiche) di quelle applicate agli aeroporti, per cui si rimanda al *Regolamento per la Costruzione e l'Esercizio degli Aeroporti*.

Le modifiche riguardano le pendenze, che non devono eccedere il 2% in ogni direzione, e lo spazio minimo libero tra un elicottero che utilizza una piazzola e un oggetto o qualunque altro aeromobile su un'altra piazzola, il quale non deve essere inferiore a metà della larghezza massima fuori tutto degli elicotteri che si devono servire della piazzola. Inoltre una piazzola per elicotteri deve essere di dimensione sufficiente a contenere un cerchio di diametro almeno pari alla dimensione massima fuori tutto del più grande elicottero che si deve servire di quella piazzola.

- Tutti gli aeromobili che operano nell'eliporto, devono seguire, in decollo e in atterraggio, una rotta che risulti sempre al di sopra delle superfici suddette:
- *superfici di decollo-avvicinamento*: sono rappresentate da rampe che si sviluppano ai due lati della zona di sicurezza, precedentemente definita, attestandosi alla linea di sicurezza. Ciascuna rampa ha una pendenza del 25% e si estende fino alla quota relativa di 150 m, in pianta ha una forma trapezia con lati divaricati, rispetto all'asse, del 15% fino alla quota di 50 m; si estende poi, con larghezza costante fino alla quota di 150 m;
- *superficie di decollo-avvicinamento rapido*: può svolgersi solo da un lato della zona di sicurezza mentre dall'altro lato si avrà sempre una superficie come indicato nel precedente punto. La superficie si attesta sul lato minore

dell'area di manovra con rampa avente pendenza del 50% fino a raggiungere la quota di 150 m; in pianta la disposizione è rappresentata da un trapezio e poi da un rettangolo;

- *superficie di transizione*: è costituita da due piani inclinati (pendenza 1/1) che si dipartono dall'estremità delle strisce laterali di sicurezza, fino alla quota relativa di 150 m e dei triangoli di raccordo con le superfici di decollo-avvicinamento. Le disposizioni suggerite dall'ICAO sono diverse e, in generale, più restrittive di quelle proposte in Italia. Le sostanziali differenze riguardano:
- *superfici di avvicinamento*: pendenza delle rampe 12,5% fino alla quota relativa di 90 m con rappresentazione in pianta di un trapezio con lati divaricati del 15%, raggiungendo una larghezza della base ben maggiore rispetto a quella prevista dalla normativa nazionale (minimo = 150 m);
- *superficie di transizione*: pendenza del piano inclinato pari al 50% sempre fino alla quota di 90 m.

Secondo le norme ICAO, nel caso in cui le superfici di avvicinamento terminino in corrispondenza di una zona abitata, occorre prolungare le condizioni limitative con un ulteriore piano, avente pendenza 1/10 fino ad una distanza dalla quale si vede il termine dell'abitato sottostante entro un cono ad asse verticale con apertura di 45°. Tale superficie, sul prolungamento di quella di avvicinamento, è detta *superficie di sicurezza*; questa può rappresentare il proprio asse longitudinale non rettilineo ma sempre che il raggio di curvatura circolare non sia inferiore a 200 m.

In Figura 6.3 sono rappresentate le superfici descritte precedentemente.

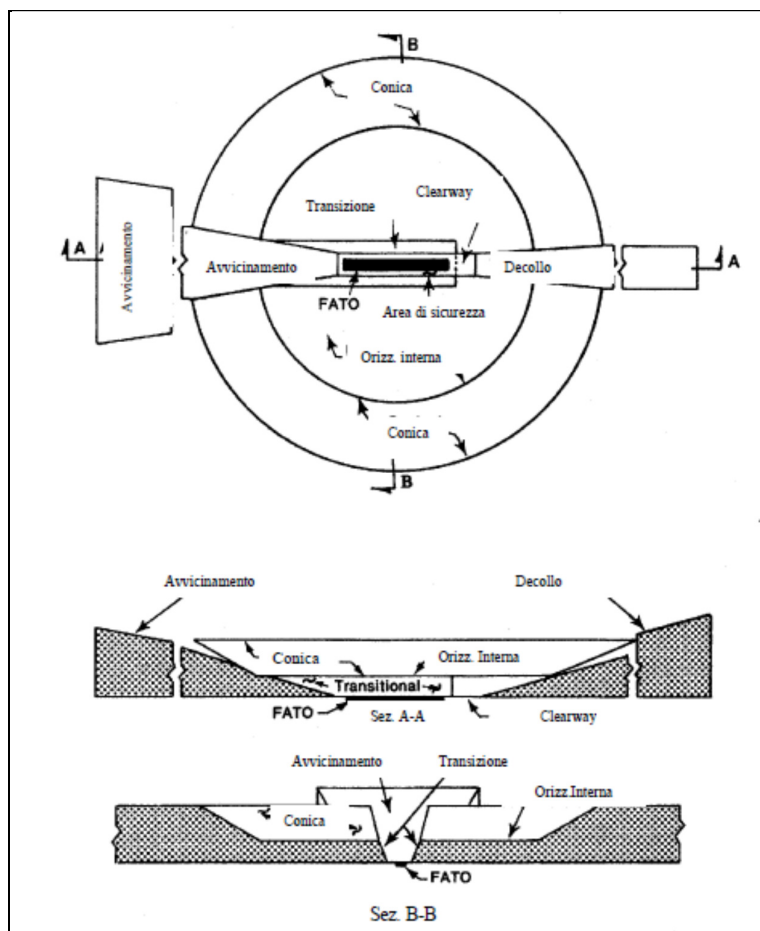


Figura 6.51: Disposizione della FATO e delle aree di sicurezza

6.7 Regolamenti operativi italiani

Per quanto concerne la regolamentazione operativa, è necessario considerare la regolamentazione fornita dall'API.

In queste norme infatti è possibile trovare un notevole quantitativo di informazioni sulle distinzioni delle fasce orarie dei voli in elicottero e quant'altro può essere utile ai piloti per affrontare e concludere in sicurezza le proprie missioni di volo.

Per motivi di servizio, infatti, l'elicottero potrebbe avere la necessità di operare anche nelle ore immediatamente prima dell'alba o immediatamente dopo il tramonto.

Per prima cosa è necessario riportare la definizione AIP riguardante volo diurno: "Per voli condotti di giorno si intendono quei voli condotti da mezz'ora prima del sorgere del sole a mezz'ora dopo il tramonto secondo le effemeridi della località considerata."

In Tabella 6.4 sono riportate le condizioni di visibilità e distanza dalle nubi minime per voli VFR in elicottero.

Tabella 6.22: Condizioni di visibilità per elicotteri

CRITERI VMC PER GLI ELICOTTERI *
HELICOPTERS VMC CRITERIA*

Classe Class	A o al di sopra di At or above FL 100	Al di sotto di FL 100 e al di sopra di 3000 FT AMSL o 1000 FT AGL Below FL 100 and above 3000 FT AMSL or 1000 FT AGL	A o al di sotto di 3000 FT AMSL o 1000 FT AGL quale dei due è più alto At or below 3000 FT AMSL or 1000 FT AGL whichever is higher		
C - D E	Visibilità Distanza Visibility Distance	giorno e notte day and night		Giorno day	Notte night
	Visibilità in volo Flight visibility	8 KM	5 KM		
	Distanza dalle nubi Distance from clouds	Orizzontale: Horizontal: 1500 M Verticale: Vertical: 300 M	Fuori dalle nubi ed in vista del suolo o dell'acqua Clear of clouds and in sight of surface		
	Visibilità in volo Flight visibility	8 KM	5 KM	Inferiore a: Less than: 5 KM **	3 KM
F - G	Distanza dalle nubi Distance from clouds	Orizzontale: Horizontal: 1500 M Verticale: Vertical: 300 M	Fuori dalle nubi ed in vista del suolo o dell'acqua Clear of clouds and in sight of surface		

* Non sono fissate altezze minime per gli elicotteri in VFR, questi devono essere condotti ad un'altezza che permetta loro di atterrare senza pericoli per proprietà o persone in caso di emergenza.
No minimum heights are established for VFR operation: helicopters shall not fly below such a height as would enable it to alight without danger to persons or property in the event of emergency.

** Purché manovrati ad una velocità che, tenuto conto della visibilità, consenta di osservare altro traffico o gli ostacoli in tempo utile per evitare collisioni.
If manoeuvred at a speed which gives, having regard to visibility adequate opportunity to observe other traffic or any obstacle in time to avoid collision.

Sempre AIP definisce voli notturni “quelli da mezz’ora dopo il tramonto fino a mezz’ora prima del sorgere del sole, secondo le effemeridi della località considerata”.

Bisogna però sottolineare come esista una profonda distinzione, all’interno della categoria “volo notturno” in volo a vista notturno (VFR/N) e volo strumentale (IFR).

Nessun volo in VFR/N può essere pianificato o effettuato a meno che lungo la rotta le previsioni del tempo disponibili non assicurino una visibilità minima orizzontale di 5 km e una base delle nubi di almeno 3000 ft.

Il volo VFR/N può essere condotto negli spazi aerei di classe C, D, E, F e G in contatto visivo con il suolo, alle seguenti condizioni:

- decollo/atterraggio: almeno 5 km di visibilità al suolo, base delle nubi non inferiore a 3000 ft;

- b) fase in rotta: almeno 5 km di visibilità in volo per voli condotti al di sotto di FL 100; distanza dalle nubi: verticale 2000 ft, orizzontale 3 km.

Per i voli VFR/N condotti a FL 100, o al di sopra, la minima visibilità in volo è di 8 km in accordo alla regolamentazione prevista per il VFR diurno.

Per le operazioni di volo che vengono condotte in zone montagnose la visibilità orizzontale in volo deve essere almeno di 8 km.

In condizioni di volo al di sotto di quelle precedentemente riportate possono essere autorizzati voli speciali di giorno e di notte previa l'autorizzazione dell'ente che fornisce il servizio di controllo di avvicinamento avendo una visibilità in volo di almeno 1000 m all'interno della zona di controllo o per l'attraversamento della stessa.

Inoltre vengono riportate le minime metereologi che per operazioni VFR/N suddivise per la fase di decollo (o atterraggio) e per la fase di crociera. Nel primo caso è necessario avere almeno 3km di visibilità al suolo, altezza delle nubi di almeno 1500 ft AGL. Nel secondo caso è necessario avere almeno 3km di visibilità al in volo e permane il limite dell'altezza delle nubi.

È interdetto il sorvolo se zone intensamente popolate di città, su paesi o insediamenti ad altezze inferiori ai 1000 ft al di sopra del più alto ostacolo situato entro un raggio di 600m o ad altezza maggiore se dovesse risultare necessario, in caso di emergenza, effettuare un atterraggio. È inoltre vietato nel periodo estivo il sorvolo delle spiagge ad un'altezza inferiore a 1000 ft.

Gli elicotteri, nelle vicinanze di aeroporti devono manovrare senza interferire con le traiettorie in partenza o in arrivo dei velivoli ad ala fissa e, a meno che non vi sia una zona loro dedicata, attenersi alle disposizioni della torre di controllo.

Gi elicotteri in volo VFR/N devono sottostare alle regole del volo VFR integrate dalle regole riportate nella Tabella 6.6.

Tabella 6.23: Minime di visibilità per volo notturno

<u>Altitudine</u> <u>Altitude</u>	<u>Classe di spazio aereo</u> <u>Airspace class</u>	<u>Visibilità in volo</u> <u>Flight visibility</u>	<u>Distanza dalle nubi</u> <u>Distance from clouds</u>
A o al di sopra di FL 100 At or above FL 100	B, C, D, E, F, G	8 km	Orizzontale / Horizontal: 1500 m Verticale / Vertical: 1000 ft
Al di sotto di FL 100 e al di sopra di 3000 ft AMSL o 1000 ft AGL (quale più alto) Below FL 100 and above 3000 ft AMSL or 1000 ft AGL (whichever is higher)	B, C, D, E, F, G	5 km	Orizzontale / Horizontal: 1500 m Verticale / Vertical: 1000 ft
A o al di sotto di 3000 ft AMSL o 1000 ft AGL (quale più alto) At or below 3000 ft AMSL or 1000 ft AGL (whichever is higher)	B, C, D, E	5 km	Orizzontale / Horizontal: 1500 m Verticale / Vertical: 1000 ft
A o al di sotto di 3000 ft AMSL o 1000 ft AGL (quale più alto) At or below 3000 ft AMSL or 1000 ft AGL (whichever is higher)	F, G	3 km	Fuori dalle nubi ed in contatto visivo con il suolo e/o con l'acqua. Clear of clouds and in visual reference to the surface.
NOTA Per le operazioni di volo che vengono condotte in zone montagnose la visibilità orizzontale in volo deve essere almeno di 8 km. REMARK For flight operations in mountainous areas, horizontal flight visibility must be at least 8 km.			

I voli VFR/N devono essere condotti negli spazi aerei di classe C, D, E, G, in contatto visivo con il suolo o con l'acqua con condizioni di visibilità minime di 5 km in fase di decollo o atterraggio negli spazi aerei di classe C, D, E e 3 km negli spazi aerei di classe G ed altezza dalle nubi di almeno 1500 ft AGL; in fase di decollo sono da applicare i limiti riportati nella Tabella 6.5.

Il volo in tali condizioni può essere effettuato solo in arrivo o in partenza da aeroporti aperti al traffico VFR notturno e, nel piano di volo, deve essere indicato un aeroporto di arrivo alternativo idoneo a tale tipo di traffico.

Gli elicotteri immatricolati negli stati esteri devono essere riconosciuti idonei al volo VFR/N dall'autorità dello stato di registrazione. Se lo stato di registrazione non ne prevede la necessità, gli elicotteri di cui sopra, per il sorvolo dello spazio aereo italiano devono essere dotati di un trasponder SSR con riporto di quota acceso, apparati radio per mantenere la comunicazione a due vie con gli enti ATS e un apparato ELT (A) o ELT (S).

Per poter pilotare un elicottero in volo VFR/N è necessario che il pilota possieda una licenza di pilota commerciale di elicottero o di linea rilasciata in accordo al Regolamento JAR FCL 2 e, per trasportare altre persone a bordo, è necessario che il pilota abbia effettuato, negli ultimi 90 giorni, in qualità di pilota

responsabile, almeno tre decolli, tre circuiti e tre atterraggi di notte con lo stesso tipo di elicottero.

È importante ricordare inoltre che l'Annesso 6 dell'ICAO prevede una serie di equipaggiamenti standard per gli elicotteri che debbano operare in condizioni VFR o IFR distinguendo tra operazioni svolte durante le ore diurne e durante le ore notturne. La Tabella 6.6 riporta una schematizzazione di quelle che dovrebbero essere le dotazioni di bordo.

Tabella 6.24: Dotazione di bordo per elicotteri

Dotazione di bordo	VFR		IFR	
	Giorno	Notte	Giorno	Notte
Bussola magnetica	X	X	X	X
Orologio indicante ore, minuti e secondi	X	X	X	X
Altimetro barometrico	X	X	X (n. 2)	X (n. 2)
Indicatore di velocità dell'aria	X	X		
Strumenti o attrezzature prescritte dalle Autorità competenti	X	X	X	X
Indicatore di assetto (orizzonte artificiale) per ogni pilota più un indicatore di assetto aggiuntivo		X	X	X
Indicatore di sbandamento		X	X	X
Indicatore di direzione (giroscopio direzionale)		X	X	X
Indicatore di salita e discesa (variometro)		X	X	X
Luci richieste dall'Annesso 2 (Annesso 8) per aeromobili in volo o durante le operazioni nell'area di movimento di un eliporto		X		X
Due luci di atterraggio		X		X
Illuminazione strumenti e attrezzature essenziali per il funzionamento sicuro dell'elicottero		X		X
Luci in tutti i vani passeggeri		X		X
Torcia elettrica per ogni membro dell'equipaggio		X		X
Indicatore di velocità dell'aria con i mezzi per prevenire i malfunzionamenti dovuti a condensazione o ghiacciamento			X	X
Dispositivo che indichi se l'alimentazione del giroscopio è sufficiente			X	X
Dispositivo che indichi, nella cabina di pilotaggio, la temperatura dell'aria esterna			X	X
Sistema di stabilizzazione (a meno che le autorità certificate abbiano dimostrato che non ne abbia bisogno)			X	X

6.8 Normativa francese

Lo studio della normativa francese in tema di eliporti è stato basato fondamentalmente su quanto pubblicato nel “Journal Officiel de la République Française” per la regolamentazione delle strutture eliportuali.

Questo documento detta le linee guida della progettazione degli spazi dedicati all'utilizzo degli elicotteri ed è diviso in un corpo principale e in quattro annessi. Il corpo principale si dedica all'inquadramento del problema mentre le caratteristiche tecniche ed i requisiti degli eliporti sono riportati nei vari annessi. In particolare gli argomenti trattati sono suddivisi secondo quanto sotto riportato:

Annesso 1: Definizioni relative alle infrastrutture aeronautiche terrestri utilizzate esclusivamente dagli elicotteri ad un solo rotore principale.

Annesso 2: Caratteristiche fisiche delle infrastrutture aeronautiche terrestri utilizzate esclusivamente dagli elicotteri ad un solo rotore principale.

Annesso 3: Ostacoli intorno alle infrastrutture aeronautiche terrestri utilizzate esclusivamente dagli elicotteri ad un solo rotore principale.

Annesso 4: Aiuti visivi delle infrastrutture aeronautiche terrestri utilizzate esclusivamente dagli elicotteri ad un solo rotore principale.

Nell'Annesso 1 sono citate tutte le definizioni utili alla comprensione delle indicazioni riportate negli annessi successivi.

A seguito dell'analisi normativa riguardante la Francia, si può affermare che le prescrizioni riportate nell'Annesso 2 e nell'Annesso 4 sono sostanzialmente uguali a quelle riportate nella bozza di normativa italiana in quanto provenienti dalla stessa fonte normativa internazionale: l'Heliport Manual.

Nell'Annesso 3, a differenza della normativa italiana, si ha un maggiore dettaglio per quanto concerne le caratteristiche legate agli ostacoli in prossimità degli eliporti ed alle procedure di avvicinamento ed allontanamento dalla piazzola riportando, anche graficamente, elaborati esaustivi delle procedure da utilizzare, classificate in base alla classe di appartenenza dell'elicottero che deve operare sulla superficie considerata.

Dall'analisi normativa è risultato, inoltre, come l'autorità francese abbia fatto proprie alcune delle proposte del "Heliport Design Working Group" per la modifica di alcune parti dell'Annesso 14 – Volume 2 dell'ICAO.

Di seguito si riportano gli stralci delle tabelle e delle figure dell'Annesso 3 della norma francese in cui sono riportati i dati non presenti nella bozza di normativa italiana.

Tabella 6.25: Dimensioni e pendenze dei percorsi di atterraggio e decollo in funzione della classe di performance dell'elicottero

	Classe de performances		
	Classe de performances 1	Classe de performances 2	Classe de performances 3
Caractéristiques de la trouée			
Emplacement du bord intérieur	Bord extérieur du rectangle circonscrit à l'aire de sécurité, ou Sa projection sur le plan vertical passant par le bord du prolongement dégagé s'il est aménagé dans le cas de la trouée de décollage		
Largeur du bord intérieur	Largeur minimale spécifiée de l'aire d'approche finale et de décollage plus l'aire de sécurité		
Largeur du bord extérieur	120 m		
Hauteur du bord extérieur au-dessus du bord intérieur	152 m (500 pieds)		
Longueur totale (Distance entre le bord intérieur et le point auquel la trouée atteint une hauteur de 152 mètres au-dessus du bord intérieur)	3378 m	1216 m	1075 m
Caractéristiques de sa première section			
Divergence	10% lorsque l'aire d'approche finale et de décollage est utilisée de jour seulement 15% lorsque l'aire d'approche finale et de décollage est utilisée de nuit		
Largeur atteinte	120 m	120 m	[d]
Longueur	[a]	[a]	245 m
Pente	4,5%	12,5%	8%
Hauteur au-dessus du bord intérieur	[c]	[c]	20 m
Caractéristiques de sa seconde section			
Divergence	aucune		idem 1 ^{ère} section, puis aucune
Largeur	120 m		de [d] à 120 m, puis 120 m
Longueur	[b]	[b]	830 m
Pente	4,5%	12,5%	16%

Tabella 6.26: Dimensioni e pendenza della superficie di protezione dagli ostacoli associata all'indicatore di traiettoria d'approccio per l'elicottero

Caractéristiques de la surface	
Emplacement du bord intérieur	Bord extérieur du rectangle circonscrit à l'aire de sécurité
Largeur du bord intérieur	Largeur minimale spécifiée de l'aire d'approche finale et de décollage plus l'aire de sécurité
Divergence	10%
Longueur	2500 m
Pente	Egale à A-0,65° A est l'angle de la limite supérieure du secteur du signal « trop bas » de l'indicateur

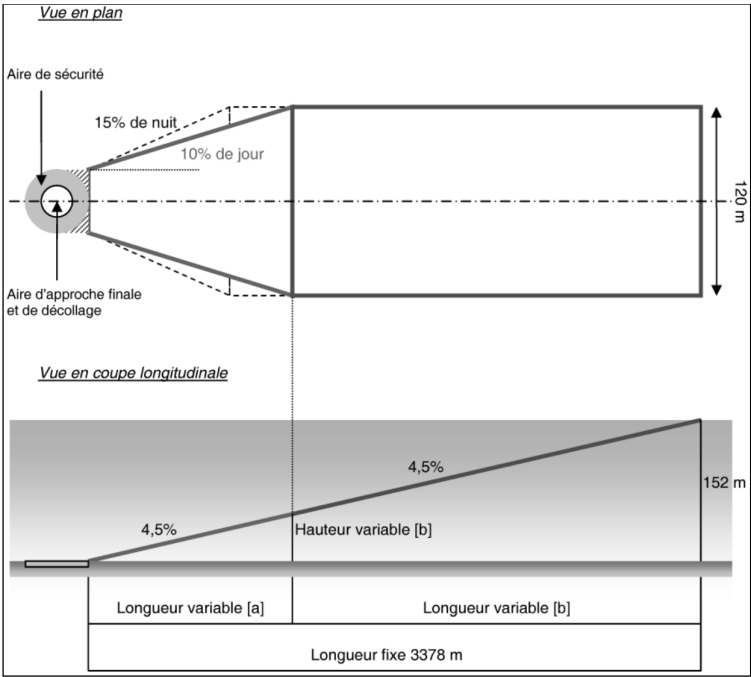


Figura 6.52: Rappresentazione delle traiettorie di decollo ed atterraggio per elicotteri appartenenti alla Classe 1

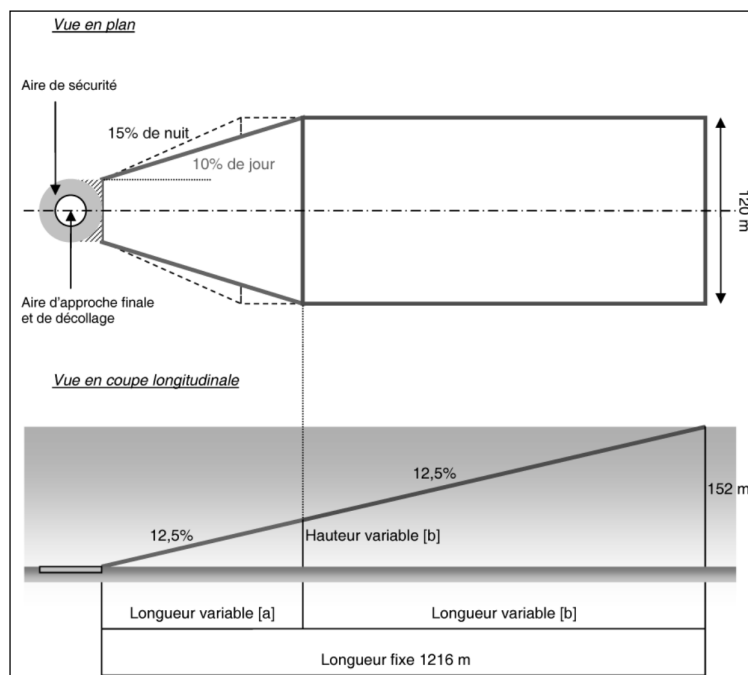


Figura 6.53: Rappresentazione delle traiettorie di decollo ed atterraggio per elicotteri appartenenti alla Classe 2

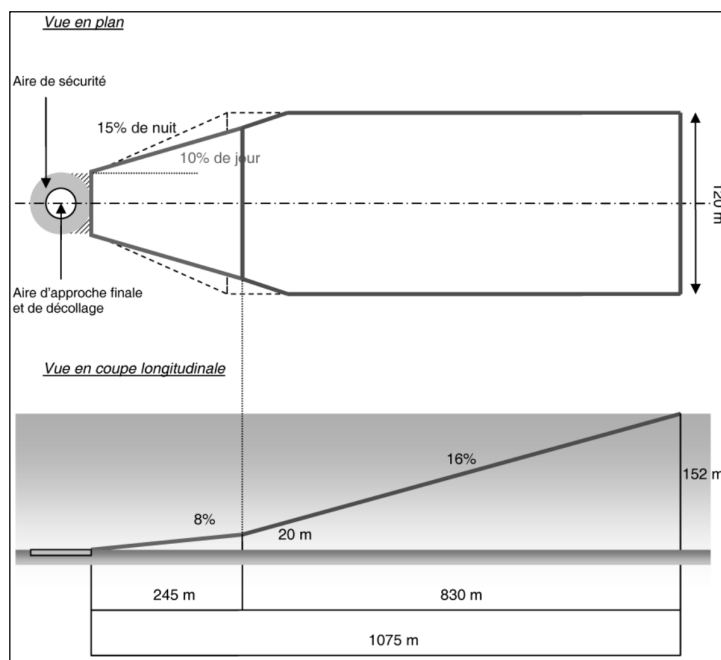


Figura 6.54: Rappresentazione delle traiettorie di decollo ed atterraggio per elicotteri appartenenti alla Classe 3

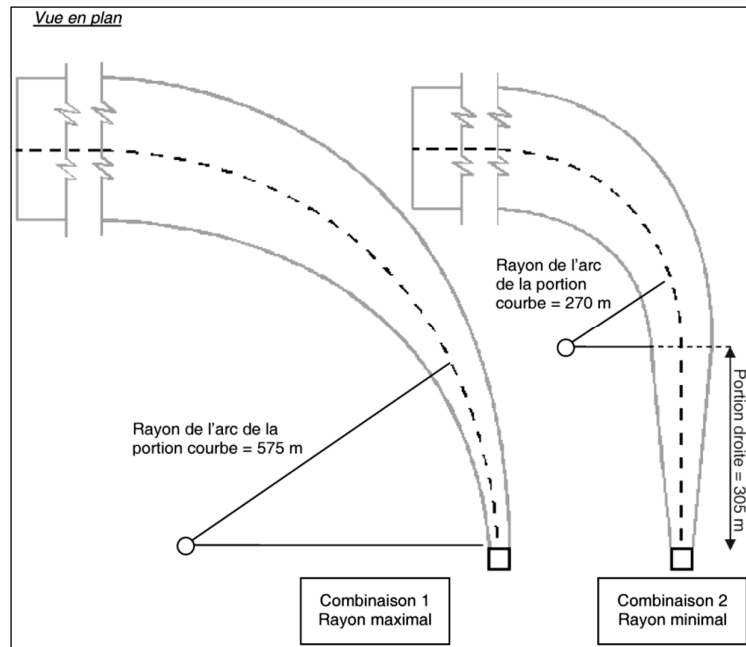


Figura 6.55: Rappresentazione delle traiettorie curve di decollo ed atterraggio

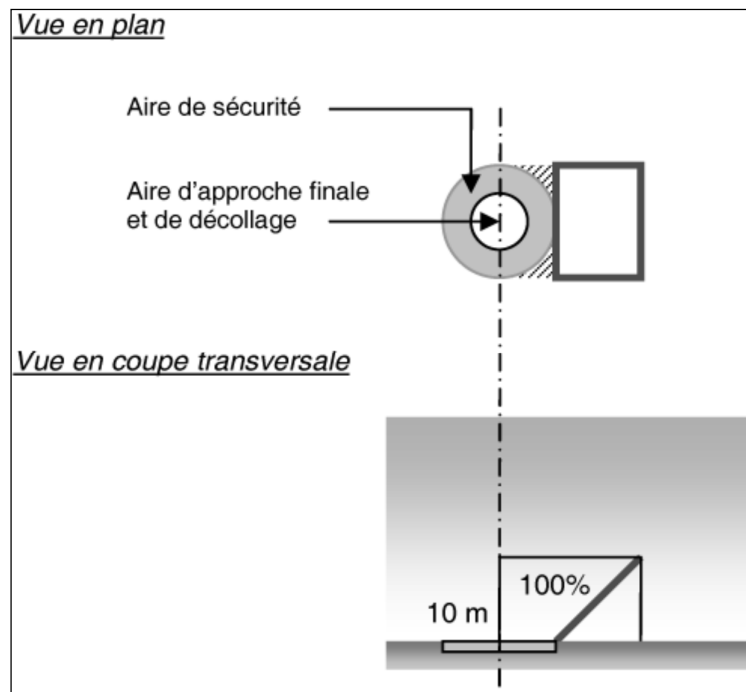


Figura 6.56: Rappresentazione della superficie laterale

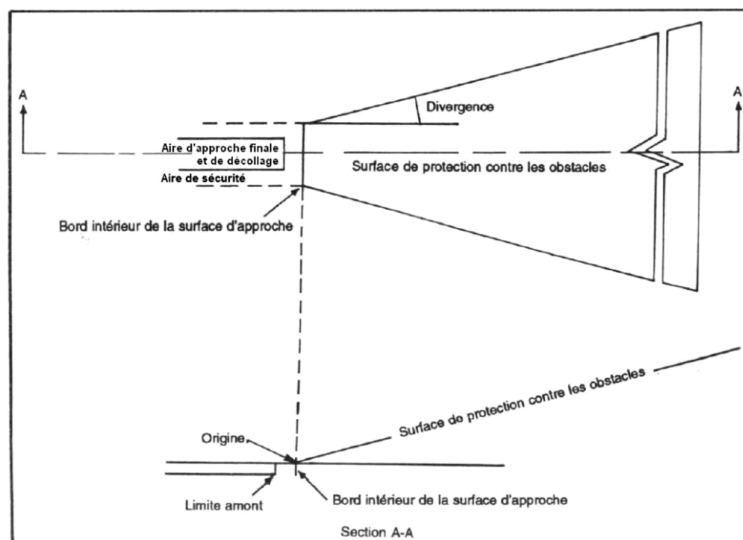


Figura 6.57: Rappresentazione della superficie di protezione dagli ostacoli associata all'indicatore di traiettoria d'approccio per l'elicottero

6.9 Normativa canadese

L'analisi normativa del Canada è stata basata sullo studio della parte del "Règlement de l'aviation canadien" relativa agli eliporti. Più precisamente ci si è occupati dell'analisi della Parte 3, Sottoparte 5 e della Norma 325 sempre relativa alla parte 3.

Lo studio ha portato alla conclusione che, come già notato nel caso della normativa francese, tale normativa sia basata sugli stessi concetti fondamentali della bozza normativa italiana e che differisca da questa solo per alcuni aspetti nei quali è stato adottato un maggior dettaglio informativo e rappresentativo.

La normativa canadese, così come quella francese, riporta l'immagine presente nella proposta di modifica della parte dell'Annesso 14 ICAO dove sono indicati i raggi per l'approccio su traiettoria curvilinea. In nota, a differenza di quanto riportato nella norma francese, sono riportate alcune indicazioni riguardo alla lunghezza ed al raggio.

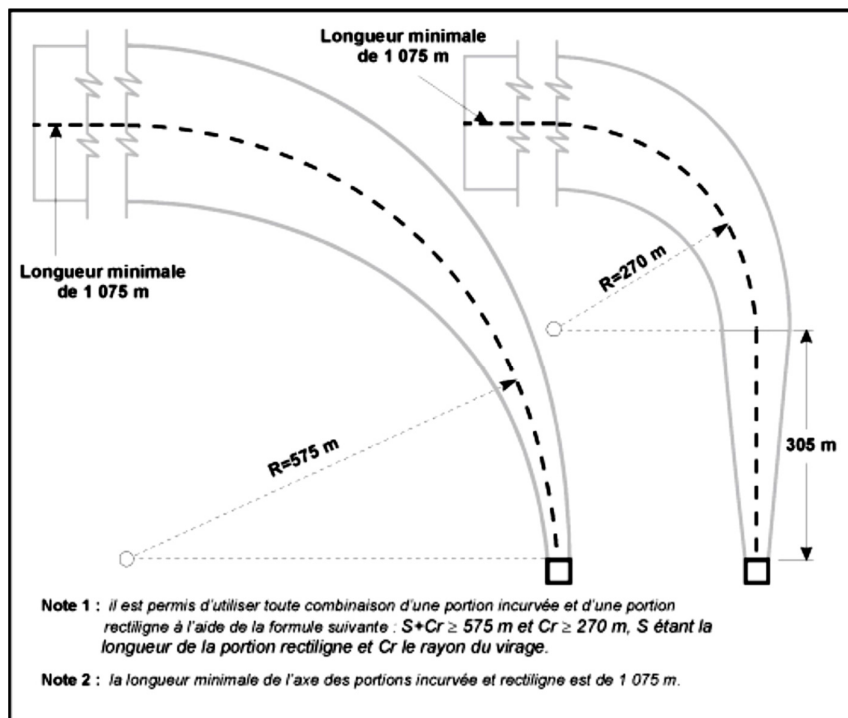


Figura 6.58: Superficie d'approccio e di decollo curva di una FATO a vista

Sono riportate la regolamentazione per una superficie di transizione di una FATO a vista, come pure le esigenze particolari riguardanti FATO con approccio a vista per eliporti H1, H2.

Altra peculiarità, rispetto alla bozza italiana, consiste nel riportare le esigenze particolari necessarie per le FATO che prevedono approccio strumentale, quali le caratteristiche e le dimensioni ammissibili degli ostacoli in prossimità delle superfici d'approccio. Si ricorda, a tal proposito, che la bozza normativa ENAC non è ancora definita per quanto concerne la fase di approccio strumentale alla superficie di decollo.

Oltre a quanto specificato in precedenza, sembra opportuno segnalare, la presenza di immagini differenti e più esaustive riguardanti il sistema di atterraggio HAPI e AHAPI (vedi Figura 6.11 e Figura 6.12)

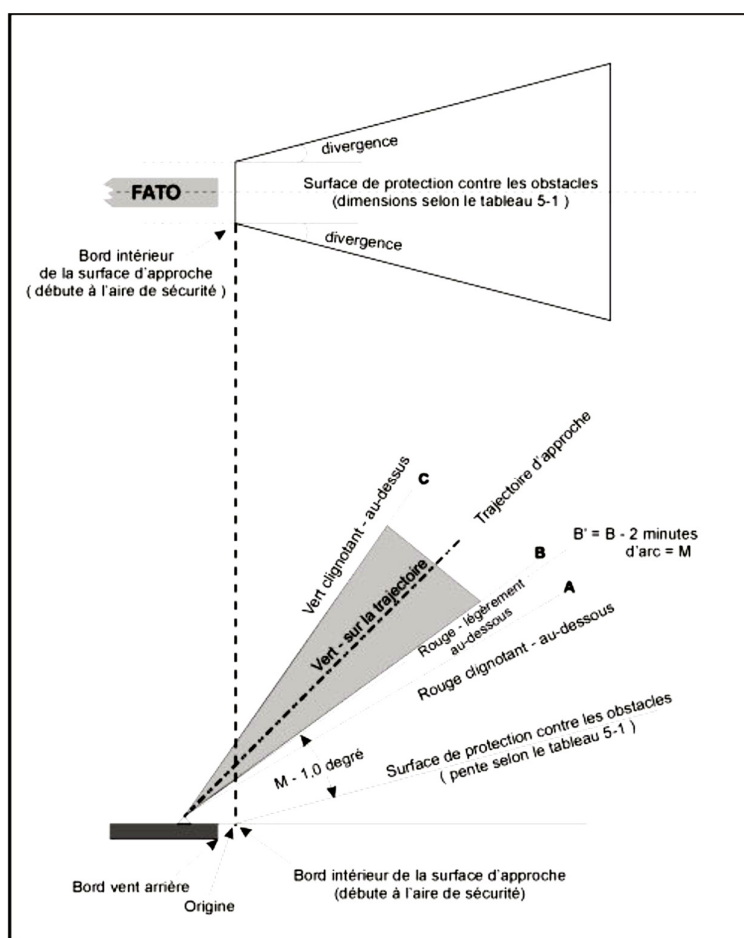


Figura 6.59: Formato del segnale HAPI

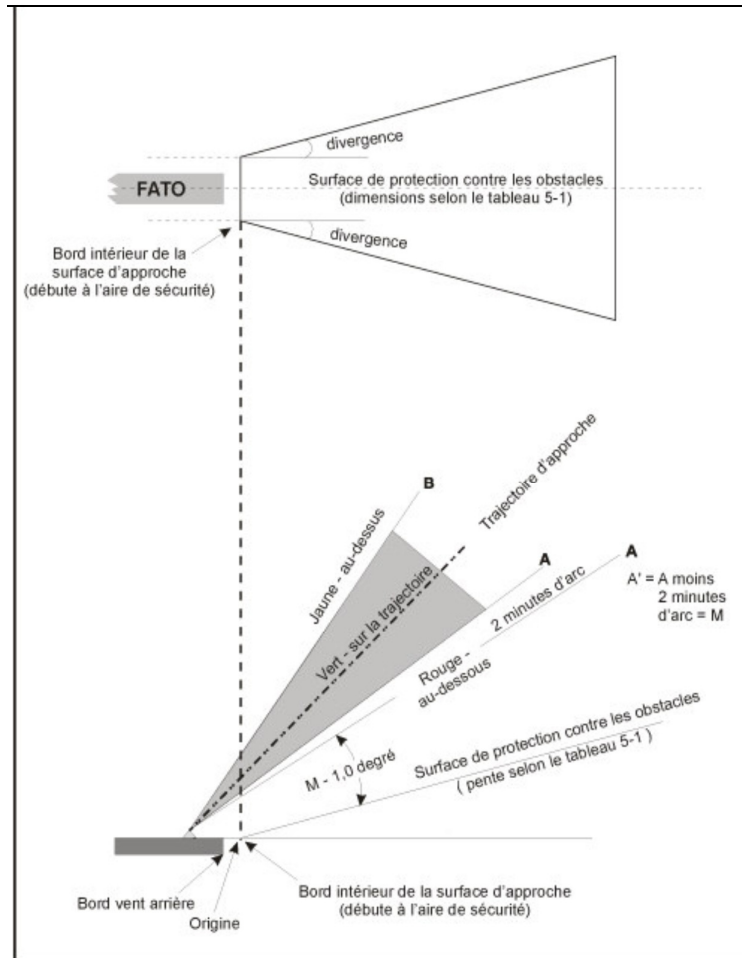


Figura 6.60: Formato del segnale AHAPI

6.9.1 Classificazione degli eliporti canadesi

Gli eliporti sono divisi in due categorie: strumentali e non strumentali. Quelli non strumentali, a loro volta, hanno tre classificazioni: H1, H2, H3

Un eliporto non strumentale è classificato come H1 se è situato in una zona con ostacoli tali che: non c'è una zona d'atterraggio d'emergenza entro una distanza di 625 m dalla FATO e gli elicotteri che utilizzano l'eliporto possono operare ad un peso tale che in caso di avaria ad un motore in qualsiasi momento durante l'approccio o il decollo possano atterrare e rimanere in sicurezza presso la

FATO e la TLOF oppure continuare il volo in sicurezza fino ad un'area d'atterraggio idonea.

Un eliporto non strumentale è classificato come H2 se è situato in una zona con ostacoli tali che: l'altezza degli ostacoli si infrange sulla prima sezione slope della superficie di approccio e decollo tratta dalla Tabella 4 e ci sono aree raggiungibili in caso di atterraggio d'emergenza o di decollo annullato all'interno di un raggio di 625 m dalla FATO in relazione alla quota raggiunta dall'elicottero ed alle performance dello stesso con un motore in failure.

Un eliporto non strumentale è classificato come H3 se è situato in una zona con ostacoli tali che: l'altezza degli ostacoli non supera nessuna delle superfici di limitazione degli ostacoli (OLS, Obstacle Limitation Surface) individuate secondo quanto riportato in Tabella 6.9 e ci sono aree raggiungibili in caso di atterraggio d'emergenza o di decollo annullato all'interno di un raggio di 625 m dalla FATO in relazione alla quota raggiunta dall'elicottero ed alle performance dello stesso durante l'autorotazione.

Tabella 6.27: Dimensioni dell'ostacolo – FATO non strumentale

SURFACE and DIMENSIONS	NUMBER OF APPROACH/DEPARTURE PATHS AVAILABLE			
	Single		2 or more	
	FATO only	FATO + 65m obstacle free zone	FATO only	FATO + 85m obstacle free zone
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
APPROACH SURFACE and TAKE-OFF SURFACE:				
Length of inner edge	Width of safety area	Width of safety area	Width of safety area	Width of safety area
Location of inner edge	Safety area boundary	Safety area boundary	Safety area boundary	Safety area boundary
Divergence:				
Day use only	10 %	10 %	10 %	10 %
Night use	15 %	15 %	15 %	15 %
First Section :				
Length	245 m	245 m	245 m	245 m
Slope	6 % (1:16.6)	8 % (1:12.5)	8 % (1:12.5)	10 % (1:10)
Second Section:				
Length	830 m	830 m	830 m	830 m
Slope	16 % (1:6.25)	16 % (1:6.25)	16 % (1:6.25)	16 % (1:6.25)

Nota: il fattore principale che determina l'idoneità delle aree d'emergenza dell'eliporto deve essere l'elicottero con le peggiori performance in failure che potrà atterrare sul sedime in oggetto.

6.10 Ulteriori considerazioni

La normativa dovrebbe essere anche aggiornata in merito alle norme relative sui piazzali, che non tengono in considerazione la straordinaria possibilità, da parte dell'elicottero, di ruotare attorno a sé stesso. A tale scopo, nella circolare AC 150/5390-2B sono suggerite anche alcune possibili soluzioni di design, che sono illustrate in Figura 6.13, Figura 6.14 e Figura 6.15.

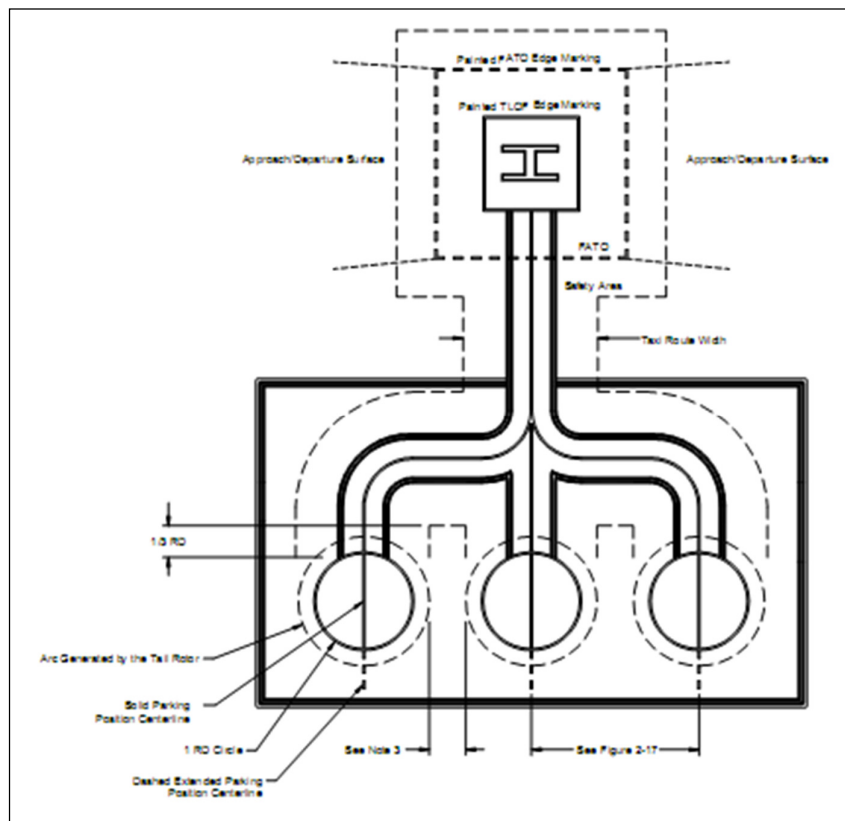


Figura 6.61: Design per l'area di parcheggio tipo "Turn-around"

Tale soluzione di design prevede che gli elicotteri abbiano la possibilità di muoversi in sicurezza attorno al proprio albero principale per poter uscire dalla posizione di parcheggio.

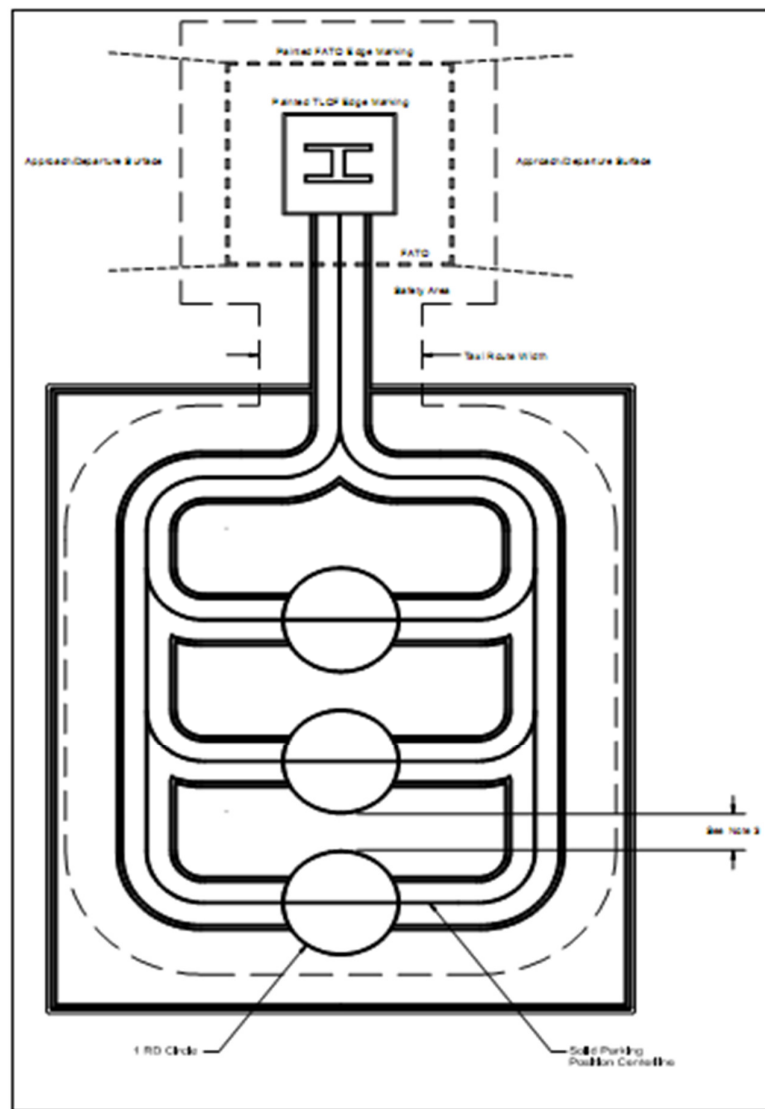


Figura 6.62: Design per l'area di parcheggio tipo "Taxi through"

Per questo tipo di soluzione è necessario che i piloti siano informati, attraverso opportuna segnaletica, del verso di circolazione dell'area di parcheggio e che le partenze in marcia indietro non siano ovviamente permesse.

Infine, l'ultimo schema proposto è di tipo "Back out"; in questo caso le taxiway adiacenti alle piazzuole di parcheggio devono essere progettate per essere sede di operazioni in hovering (Figura 6.15).

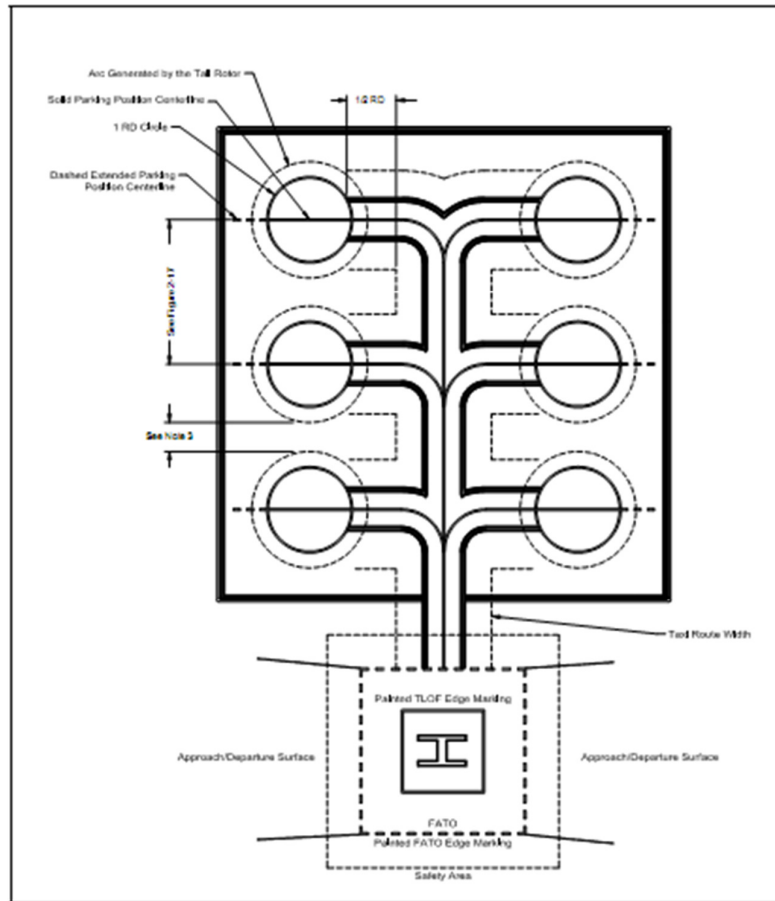


Figura 6.63: Design per l'area di parcheggio tipo "Back out"

In generale le piazzuole di parcheggio, quindi, devono essere progettate in modo che gli elicotteri parcheggiati mantengano il rotore di coda il più lontano possibile dalle vie pedonali dei passeggeri, che nell'area operativa devono essere segnalate adeguatamente minimizzando i rischi nella fase di imbarco e sbarco.

Infine, si è constatato che significative differenze tra le normative dei vari paesi riguardano i servizi antincendio, che sono oggetto di raccomandazioni da parte dell'ICAO nella parte 6 dell'Annesso 14: non essendoci particolari norme,

ma solo raccomandazioni, ogni paese si dota di una sua regolamentazione nel settore, in alcuni casi troppo restrittiva.

In merito a ciò è necessario fare delle riflessioni: le manovre di atterraggio rappresentano la fase più delicata, in quanto tale, sono necessarie misure di protezione, soprattutto quando gli eliporti sono specificatamente dedicati al trasporto commerciale dei passeggeri.

Queste problematiche non devono prevedere un'unica opzione per far fronte al pericolo; il legislatore deve prefigurare una varietà di azioni in modo da ridurre al minimo i costi della comunità. Ogni misura di protezione deve essere correlata al rischio potenziale reale, caratteristico del fenomeno analizzato.

Alcune considerazioni relative al design di un eliporto e alla sua introduzione nel sistema mobilità sembrano non trascurabili. Riguardo al tema accennato, è necessario prendere in considerazione alcuni temi legati alla sicurezza, e in particolare deve essere assicurato che la zona operativa sia sgombra da veicoli, da persone e animali; e ciò è possibile recintando opportunamente l'area dell'eliporto facendo in modo di non interferire però le superficie di avvicinamento. Gli accessi all'airside di un eliporto devono essere controllati da cancelli o porte allarmate.

Il terminal dell'infrastruttura eliportuale deve prevedere marciapiedi di accesso, sale di attese inclusi i servizi (come ristorazione, bagni, negozi, etc.), zone di parcheggio adeguate ad ospitare le auto delle persone, che accedono all'eliporto (viaggiatori, operatori, visitatori) e idonee a svolgere la funzione di punto di interscambio con il trasporto pubblico.

Un problema inerente all'inserimento degli eliporti nel sistema complessivo della mobilità è quello relativo all'impatto ambientale in termini di inquinamento atmosferico e di rumore. In merito all'inquinamento acustico, pur riconoscendo le caratteristiche del mezzo, al riguardo bisogna operare sull'opinione pubblica al fine di far superare la convinzione che l'elicottero sia un mezzo altamente rumoroso; gli elicotteri di nuova generazione possono considerarsi, nel campo acustico, fonte di livelli sonori comparabili a quelli di altri mezzi di trasporto come treni, metropolitane, autobus e autocarri.

Per diminuire l'impatto acustico, la comunità scientifica ed industriale sta investendo ingenti risorse, ed opera attivamente anche ai fini dell'ottimizzazione delle traiettorie di decollo e di atterraggio, soprattutto nel caso di eliporti situati nelle vicinanze delle città, localizzazione che, per altro verso, renderebbe appetibile l'uso dell'elicottero.

6.11 Mitigazione degli effetti sulla comunità: il caso di Issy-Les-Moulineaux

L'eliporto di Issy-Les-Moulineaux (Parigi) da qualche anno ha cominciato a suscitare l'interesse generale e partecipa attivamente come attrattiva della città di Parigi. L'attività degli elicotteri ha tuttavia suscitato un notevole interesse per l'impatto ambientale che questi mezzi possono avere, soprattutto dal punto di vista delle emissioni sonore.

Queste preoccupazioni sono scaturite dal fatto che la regione parigina è caratterizzata da un'elevata urbanizzazione, il traffico aereo (vista anche la presenza di spesse nubi) va effettuato a bassa quota e questo comporta un aggravio delle emissioni chimiche e, soprattutto, la presenza, all'interno della flotta elicotteristica che opera sull'area, di mezzi di vecchia generazione.

La crescente preoccupazione ed agitazione legata a questi fatti ha portato ad un lavoro congiunto tra cinque enti: lo Stato ed i sevizi; le collettività territoriali; i collettivi e le associazioni dei comuni interessati; gli utilizzatori dell'eliporto, i rappresentanti dell'Union Francaise de l'Hélicoptère; la società di gestione dell'eliporto (Aéroports de Paris).

Al termine della concertazione è stato redatto un documento condiviso basato su sei punti principali:

- mitigazione e riduzione dell'impatto ambientale dell'attività dell'elicottero sui territori circostanti l'eliporto;
- mitigazione dell'impatto ambientale di ciascuna macchina;
- mitigazione dell'impatto ambientale delle rotte (quota e traiettoria);
- mitigazione dell'impatto ambientale per la conoscenza, la trasparenza e l'informazione pubblica;

- mitigazione dell'impatto ambientale nell'aumento della sicurezza dei voli;
- messa in opera, validità e durata.

6.11.1 Mitigazione e riduzione dell'impatto ambientale dell'attività dell'elicottero sui territori circostanti l'eliporto

Le limitazioni imposte in questo articolo si applicano a tutti i voli in elicottero sull'eliporto, ad esclusione dei voli sanitari e di Stato.

La prima limitazione imposta è quella sul numero di operazioni l'anno da svolgere sul sedime aeroportuale: queste vengono fissate ad un massimo di 12000.

Una seconda limitazione viene posta agli elicotteri che sorvolano la zona e cioè né toccano né atterrano o partono dall'eliporto in questione, i sorvoli sono limitati a 5000 l'anno, che verranno poi ridotti a 3500 in un secondo step e poi ulteriormente fino ad un minimo non fissato. Tali riduzioni saranno possibili a seguito dell'apertura di percorsi preferenziali di attraversamento delle zone limitrofe l'eliporto che non interessino aree intensamente urbanizzate. L'obiettivo primario sarebbe, comunque, la scomparsa del traffico a ridosso dell'eliporto.

Si prescrive infine una limitazione a 50 operazioni giornaliere nei giorni di sabato, domenica e giorni feriali, ad esclusione di esigenze legate a manifestazioni particolari come il Salon International de l'Aéronautique e l'Space di Le Bourget e tutte le occasioni che saranno opportunamente documentate.

6.11.2 Mitigazione dell'impatto ambientale di ciascuna macchina

Oltre alla riduzione dell'impatto ambientale legato all'utilizzo limitato del mezzo elicotteristico viste in precedenza, in questo paragrafo si riportano alcune iniziative volte a ridurre l'impatto dal lato del mezzo.

Al primo punto di questo articolo infatti si riporta la ferma intenzione dello Stato a studiare delle norme che prevedano incentivi per la sostituzione dei mezzi più rumorosi e più inquinanti che, al momento della stesura del documento, anco-

ra volavano sui cieli dell'eliporto, con mezzi più moderni, meno rumorosi e meno inquinanti. Inoltre lo Stato si impegna, nel giro di un paio d'anni, a sostituire anche i propri apparecchi più anziani in servizio sia nella difesa che nella sicurezza civile.

Inoltre lo Stato si impegna a redigere regolamenti che limitino le emissioni di rumore in prossimità dell'eliporto e sui suoi principali sentieri di accesso. Queste misure permetteranno di verificare l'efficacia di vari provvedimenti presenti nel documento.

Successivamente viene riportata una proposta di rimodulazione dei canoni aeroportuali avanzata dalla società di gestione e dalla DGAC. Lo Stato, accogliendo di buon grado tale proposta, dispone la rimodulazione dei canoni aeroportuali in modo da dissuadere l'uso di mezzi anziani, rumorosi e inquinanti ed, al contempo, incentivare l'utilizzo di mezzi nuovi, poco rumorosi ed inquinanti.

Nell'attesa di una nuova definizione di livelli di rumore che classifichino gli elicotteri in base all'emissività effettiva, vengono classificati come anziani tutti gli elicotteri entrati in servizio in data anteriore al 1972, data dell'entrata in vigore, nei paesi membri, delle misure di riduzione del rumore promosse dall'ICAO.

L'UFH, da parte sua, si impegna ad informare passeggeri e piloti delle procedure da utilizzare per ridurre il rumore e li incita all'adozione di procedure di atterraggio opportune per la riduzione del rumore nell'eliporto.

Queste procedure verranno pubblicate sia sul sito internet dell'associazione, per la diffusione ai piloti, sia nella documentazione aeronautica ufficiale relativa all'eliporto, per la diffusione tra gli utenti.

6.11.3 Mitigazione dell'impatto ambientale delle rotte (quota e traiettoria)

La DGAC ha allo studio la possibilità di modificare il limite massimo di quota su tutti o su parte degli itinerari dei mezzi elicotteristici da 1500 ft s.l.m. a 2000 ft o, se fosse possibile, anche a una quota superiore. Una deroga a tale quota potrà essere comunque concessa a missioni di soccorso o di polizia oppure quan-

do vi saranno esigenze di sicurezza del volo. (studio che si sarebbe dovuto concludere a fine 2007)

Inoltre la DGAC ha allo studio alcune soluzioni che possano favorire i voli ai confini sud e ovest di Parigi al fine di offrire una valida alternativa a tutti gli utilizzatori.

Lo Stato e le collettività territoriali effettueranno uno studio di fattibilità per la realizzazione di una elistazione in compatibilità con i regolamenti urbanistici vigenti nella regione. Inoltre lo Stato ha allo studio la possibilità di trasferire ed utilizzare presso l'eliporto di Issy-Les-Moulineaux una parte della strumentazione in dotazione all'eliporto di Brétigny.

6.11.4 Mitigazione dell'impatto ambientale per la conoscenza, la trasparenza e l'informazione pubblica

Le limitazioni precisate in questo articolo non si riferiscono e non sono in alcun modo limitative nei confronti dei voli sanitari e di Stato.

Inoltre si afferma la necessità dell'instaurarsi di un clima di fiducia tra gli utilizzatori dell'elicottero, la collettività territoriale e le associazioni firmatarie.

Vengono stabilite le reciproche competenze nell'ottica del rispetto del presente articolo:

Dal sito internet della prefettura di Parigi e di Hauts-de-Seine, dell'ADP, dell'UFH e della DGAC deve essere possibile visionare il Piano d'Esposizione al Rumore dell'eliporto in modo che sia accessibile a tutti;

Annualmente deve riunirsi la commissione sull'ambiente;

I gestori dell'eliporto e l'UFH, all'interno di un sito internet dedicato all'eliporto, informeranno i piloti su sentieri di avvicinamento, procedure per la riduzione del rumore, etc.. Saranno inoltre presentate le statistiche annuali del volume di traffico ospitato dall'eliporto;

Le informazioni effettuate sul sito internet saranno riprese nelle pubblicazioni rese disponibili al pubblico nel terminal eliportuale;

Il traffico elicotteristico verrà modulato al fine di ridurre picchi di produzione di inquinamento;

Verranno effettuati degli studi sull'impatto ambientale delle emissioni degli elicotteri al fine di rispettare gli obiettivi di riduzione dei gas serra nell'atmosfera e di limitare il degrado ambientale generato;

La società di gestione dell'eliporto dovrà far certificare la piattaforma secondo la norma ISO 14001.

6.11.5 Mitigazione dell'impatto ambientale nell'aumento della sicurezza dei voli

Bisogna fornire informazioni ai piloti sulle traiettorie da seguire e che verranno organizzate dalla DGAC a partire da un centro di controllo che verrà allestito a Issy-les-Moulineaux o a Le Bourget.

Inoltre la parte statale si impegna a rivedere il quadro sanzionatorio per modificarlo al fine di ottenere un carattere fortemente dissuasivo.

Si prevede infine di aumentare il numero di controlli sul rispetto delle limitazioni e verranno effettuate a partire da alcune stazioni telemetriche che verranno installate in posizioni opportune.

6.11.6 Messa in opera, validità e durata del documento

La validità del documento è stata fissata in cinque anni, è stato stabilito inoltre che ogni anno si riunisse il comitato che si è occupato della redazione del documento al fine di monitorare e valutare il risultato delle azioni intraprese ed, eventualmente, intraprenderne di nuove.

Inoltre l'ente gestore dell'eliporto si impegna a pubblicare sul proprio sito internet, all'inizio di ciascun anno, una previsione del traffico dell'eliporto.

6.11.7 Ottimizzazione delle rotte: il caso di Issy-Les-Moulineaux

Di notevole importanza è una circolare entrata in vigore dal 21 Ottobre 2010 che regola l'utilizzazione dell'eliporto. Questo eliporto, infatti, si trova in un contesto molto urbanizzato e ciò lo rende molto sensibile da un punto di vista

ambientale. Lo scopo della circolare di cui sopra è quello di ridurre, a mezzo della pubblicazione di traiettorie ben determinate, l'impatto ambientale del traffico elicotteristico.

La circolare descrive dapprima le dimensioni e le caratteristiche dell'eliporto in questione, e poi ne traccia le esigenze operazionali per tutti gli utilizzatori dell'aerostazione siano essi operatori di trasporto pubblico passeggeri o operatori di lavoro aereo.

La parte di fondamentale interesse è quella in cui vengono descritti gli ostacoli presenti in prossimità del sedime eliportuale.

La prima operazione che viene trattata è il decollo da 06. In questo caso vengono descritti gli ostacoli siti in prossimità del sentiero di decollo e le relative distanze e posizioni del punto di decollo. In questo caso particolare vengono individuate due criticità: l'antenna della "sicurezza civile" e gli alberi presenti alla fine della FATO.

In Figura 6.16 e Figura 6.17 sono riportate le figure in cui viene indicata la posizione degli ostacoli.

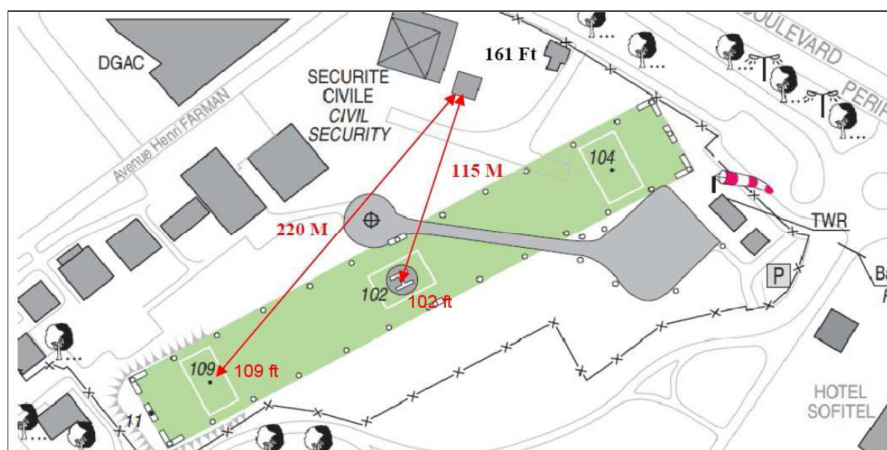


Figura 6.64: Distanza e altezza degli ostacoli prossimi all'eliporto

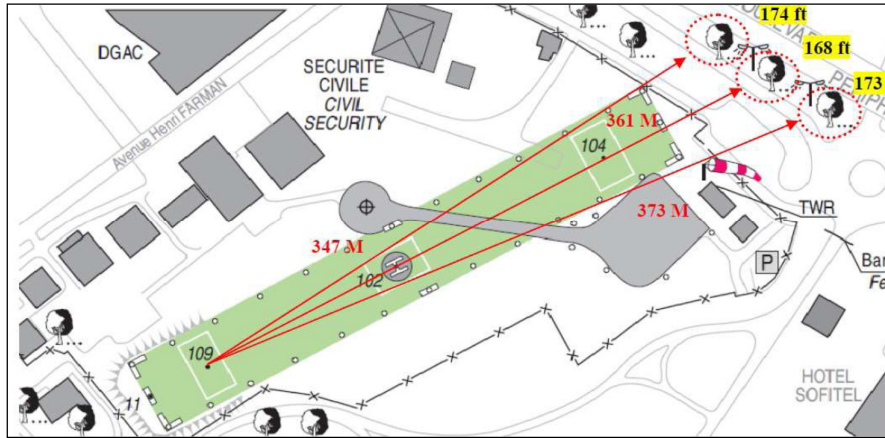


Figura 6.65: Distanza e altezza degli alberi posti in prossimità della pista

Viene successivamente indicata la procedura di decollo ed il sentiero da seguire durante l'allontanamento. Di particolare interesse è, in questo caso, lo sfruttamento del fiume quale rotta preferenziale per l'allontanamento dal sedime. Quanto appena descritto è riportato in Figura 6.18.

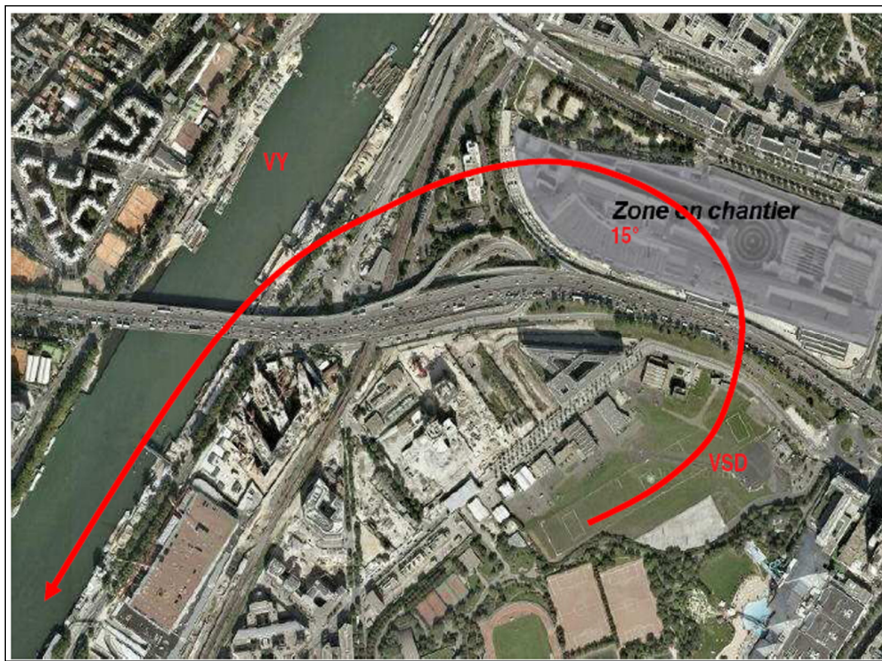


Figura 6.66: Procedura di allontanamento dopo il decollo

Successivamente si riportano le caratteristiche e le operazioni che devono svolgere gli apparecchi che utilizzeranno l'eliporto; le procedure sono differenti

per elicotteri monomotori e bimotoi. Ovviamente l'elicottero monomotore ha dei limiti più restrittivi da rispettare.

Gli elicotteri bimotoi devono scegliere una traiettoria di decollo che permetta loro il sorvolo degli ostacoli con i margini richiesti e tenga inoltre conto della piantata motore al “punto di decisione” (PDD). Si consiglia inoltre, a meno che il manuale del mezzo non lo sconsigli, di scegliere un PDD tale che sia il più alto possibile al fine di garantire il superamento degli ostacoli.

La circolare individua due PDD, uno a 200 ft ed uno, più basso, a 120 ft. A seconda della scelta di uno o dell'altro vengono anche calcolate le altezze al termine della TLOF. In Figura 6.19 e Figura 6.20 sono riportate le schematizzazioni delle operazioni.

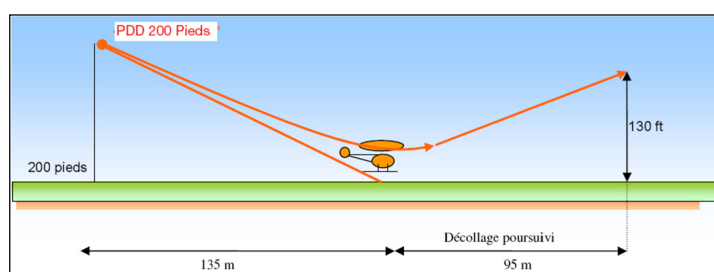


Figura 6.67: Schema della manovra con punto di decisione a 220ft

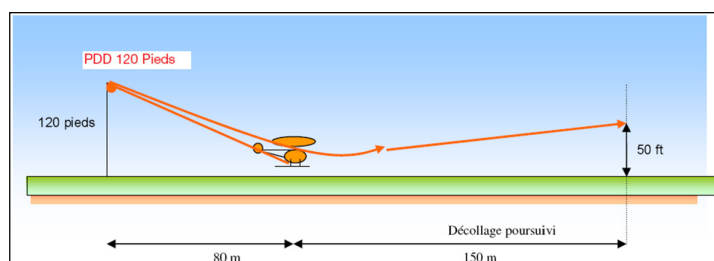


Figura 6.68: Schema della manovra con punto di decisione a 120ft

Vengono infine esaminati i casi in cui si possa avere la piantata del motore. Vengono distinti vari scenari in base ai quali il pilota deve proseguire il decollo e poi seguire le procedure standard per evitare gli ostacoli. In Figura 6.22 e Figura 6.23 vengono riportate le figure d'esempio della circolare.

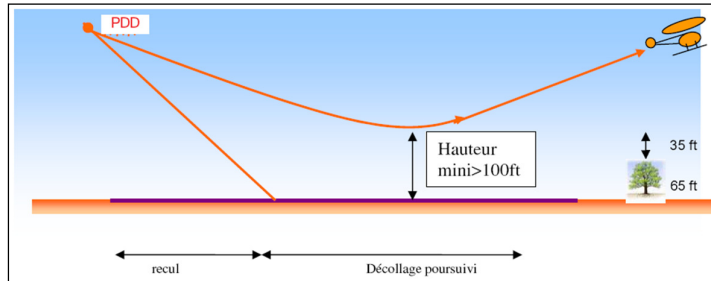


Figura 6.69: Schematizzazione della riattaccata

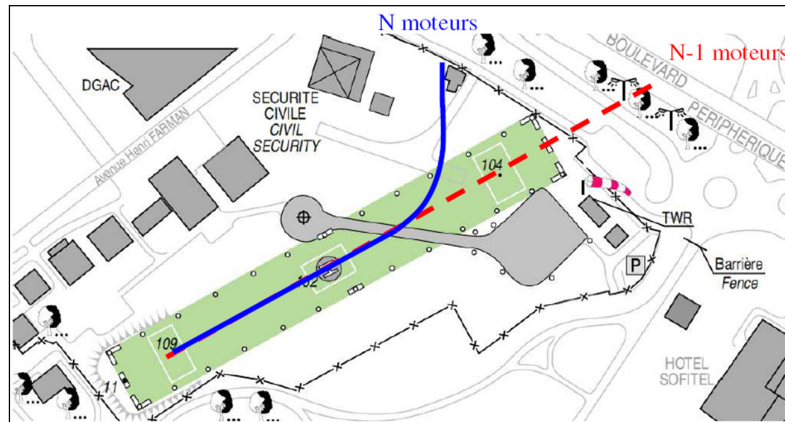


Figura 6.70: Procedura in caso di piantata di un motore

Terminata l'analisi delle operazioni di decollo, la circolare passa alla caratterizzazione delle operazioni di atterraggio. In Figura 6.24 è riportata la traiettoria che deve seguire il mezzo nell'approccio all'eliporto. È da notare come, in modo del tutto analogo alle operazioni di decollo, si sfrutti il fiume quale via prioritaria di accesso al sedime eliportuale.

Viene infine fatto notare come, durante la manovra sia possibile che il pilota perda di vista la FATO a causa della presenza di edifici nella parte Ovest della stessa e si invita a porre molta attenzione al fatto che le velocità di avvicinamento sono basse mentre sono abbastanza elevati i ratei di discesa che non risultano compatibili con le performance di Classe 1.

Per gli elicotteri monomotori è possibile che non possa avvenire un atterraggio a velocità costante.

Si ricorda infine a tutti i piloti di tenere bene in conto, in fase di atterraggio, che i margini di errore sulla pista, viste le dimensioni delle stessa, sono ridotti e di considerare in modo opportuno l'eventualità della piantata del motore.

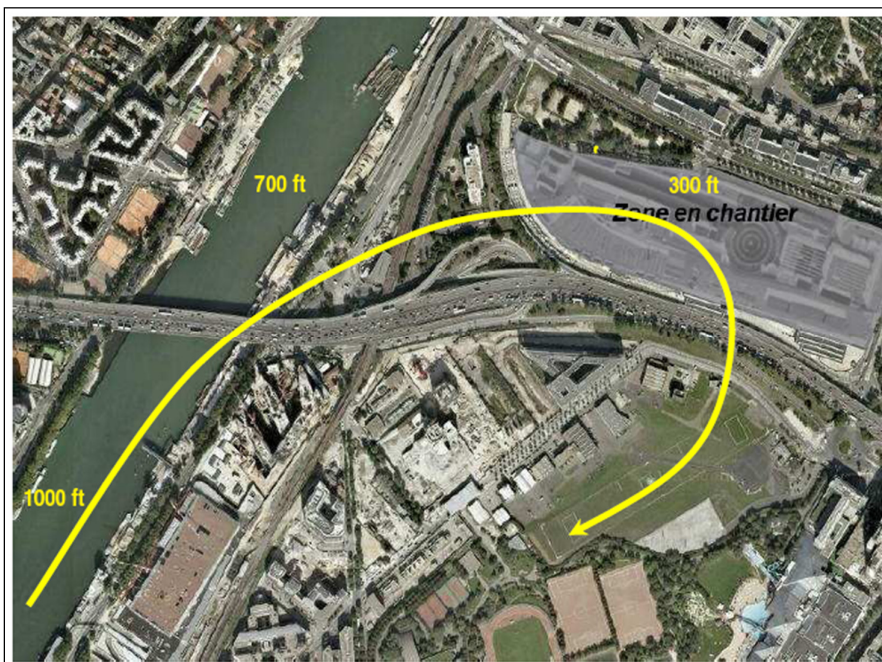


Figura 6.71: Traiettoria di approccio dell'elicottero in atterraggio

6.12 Francia: Guida alle procedure per la riduzione del rumore

Un altro aspetto di non secondaria importanza che si è evidenziato durante la ricerca normativa francese è stato quello della spiccata sensibilità alla tematica del rumore. Tale problema è stato tenuto in considerazione soprattutto dall'Union Francaise de l'Hélicoptère, associazione nata in Francia nel 2004 che ha come scopo quello di rappresentare la filiera dell'elicottero in Francia. Quest'associazione ha prodotto un documento molto significativo dal titolo "Guida delle procedure per la diminuzione del rumore in elicottero".

In tale guida sono analizzate dapprima le fonti primarie di rumore suddivise in fonti di rumore dalla trasmissione e fonti di rumore dal rotore. Queste ultime sono le fonti di rumore principali dell'elicottero. Infatti si possono distinguere tre fonti primarie di rumore nel rotore: il rumore da rotazione, il rumore impulsivo

(Blade Vortex Interaction Noise, Tail Rotor Interaction Noise e High Speed Impulsive Noise) ed il rumore a banda larga.

Successivamente vengono individuate le fasi di volo che producono il rumore e si fa una disamina della tipologia del rumore sprigionato, in prevalenza, per data fase di volo.

Sono riportati altri fattori che influenzano il rumore quali per esempio la temperatura, l'umidità, il vento etc.

In un altro paragrafo viene effettuata una panoramica di quelle che sono state le innovazioni tecnologiche attuate per la riduzione del rumore quali la modifica della forma del tip delle pale del rotore e la velocità di rotazione del rotore stesso, le innovazioni riguardanti il rotore di coda.

Si da inoltre notizia di ciò che potrà essere applicato, in futuro, per la riduzione del rumore del rotore principale, in quest'ottica è ipotizzato una diversa spaziatura delle pale all'interno del disco rotorico (ad esempio nei rotori pentapala). Si ipotizza inoltre l'utilizzo di materiali "intelligenti" che permettano di modificare la forma della profilo a adattandola ai regimi di volo, l'utilizzo di flap attivi sulle pale stesse ed infine l'installazione di cerniere che permettano di modificare il comportamento vibrazionale delle pale.

Infine si fa riferimento al ruolo del pilota nel contenimento della rumorosità del mezzo in quanto la condotta del mezzo è uno dei parametri fondamentali per evitare la rumorosità dello stesso.

In generale il pilota deve fare tutto ciò che è in suo potere per ridurre il rumore del mezzo pur rimanendo all'interno del range di parametri di sicurezza del mezzo.

Le procedure standard per la riduzione del rumore sono:

- a) volare alla quota più alta possibile tra quelle compatibili con le regole dell'aria e con la sicurezza;
- b) conoscere le procedure per la riduzione del motore fornite del costruttore del mezzo;
- c) rendersi conto che la percezione del rumore sarà diversa se il mezzo sta sorvolando una zona urbanizzata o una di campagna.

Oltre a ciò il pilota deve ridurre il tempo in cui il rotore è in rotazione mentre il mezzo è al suolo per ridurre le emissioni che possono causare danni al personale di terra ed alle persone che si trovano nelle vicinanze dell'elicottero.

Decollare con una traiettoria che abbia un forte angolo, a forte potenza e volando lentamente al fine di avere il migliore tasso di salita possibile. Scegliere la traiettoria di partenza che sia il meno possibile dannosa per le zone limitrofe sorvolate.

Bisogna pianificare l'itinerario in modo da percorrere, per quanto possibile, zone non densamente abitate. Se dovesse essere necessario il sorvolo di zone abitate bisogna volare ad una quota maggiore ed a una velocità che sia, rispetto a quella normale di crociera, inferiore da 5 a 10 nodi. Ridurre la velocità di sorvolo è infatti un modo semplice e, soprattutto, efficace per ridurre la rumorosità del mezzo durante la crociera.

È inoltre necessario evitare il più possibile la condizione di volo stazionario e, se proprio lo si richieda, che questo sia effettuato ad una quota che sia la più alta possibile.

Le manovre vanno effettuate nel modo più dolce possibile, evitando le manovre brusche e che creino elevato fattori di carico. Gli angoli di inclinazione devono mantenersi bassi.

L'approccio e l'atterraggio sono fasi di volo importanti per quel che concerne la generazione del rumore. In queste fasi sono elevati, soprattutto, i fenomeni di Blade Vortex Interaction. Bisogna pianificare al meglio l'itinerario d'approccio in modo da evitare al massimo le zone con la maggiore concentrazione di abitazioni. Effettuare un approccio su una traiettoria molto ripida permette di ridurre considerevolmente l'intensità delle emissioni sonore del mezzo.

6.13 Normativa Australiana

L'ente nazionale per l'aviazione civile dell'Australia ha emanato il CAAP 92-2, regolamento che detta le linee guida per l'istituzione e l'utilizzo dei siti di atterraggio per elicotteri.

Tale regolamento stabilisce che i piloti che operano verso, da o in un *Helicopter Landing Site (HLS)* devono essere sicuri che sussistano le seguenti condizioni:

- ✓ non vi siano persone non essenziali per le operazioni dell'elicottero;
- ✓ non vi siano oggetti e animali che possono essere un pericolo per le manovre dell'elicottero almeno che non siano oggetti essenziali per le operazioni;
- ✓ nessuna persona all'esterno dell'elicottero, che non sia essenziale per le operazioni, sia a entro un raggio di 30 metri da quest'ultimo;
- ✓ siano stati forniti gli appositi permessi dai proprietari e dalle autorità.

Dove ad un elicottero sia richiesto di funzionare con capacità di abortire il decollo o l'atterraggio e requisiti di prestazione del manuale di volo maggiori, oppure requisiti supplementari concernenti la *Final Approach and Take Off Area (FATO)*, *Ground Effect Area (GEA)*, *Landing and Lift Off Area (LLA)* o le traiettorie di avvicinamento e partenze esposti in queste linee guida, bisogna provvedere al soddisfacimento di tali requisiti.

Così come previsto dall'ICAO anche in Australia un elicottero non può atterrare e decollare da un HLS se si trova all'interno dello spazio aereo controllato a meno che:

- Esista un *Visual Meteorological Conditions (VMC)* per gli elicotteri.
- Esistano comunicazioni radio in VHF a due vie con l'opportuno ATS (Air Traffic Service).
- Siano state ricevute le autorizzazioni dall'opportuno ATS.

Se esiste il progetto di costituire un HLS vicino ad una città, paese, aerea popolata o in qualsiasi altra area in cui il rumore, o altre considerazioni ambientali, rendano le operazioni degli elicotteri indesiderate, questo HLS può essere influenzato dalle clausole del Commonwealth Environment Protection (Impact of Proposals) Act 1974 e dalla legislazione dello stato. Ci possono anche essere altre normative locali riguardanti la localizzazione degli HLS o aerodromi.

Oltre a ciò la normativa fa riferimento ad una distinzione tra *Basic HLS* e *Standard HLS*.

6.13.1 Basic Helicopter Landing Site

Il **Basic HLS** è un luogo che può essere utilizzato come un aerodromo, di elicotteri, per tutti i tipi di operazioni diurne non frequenti, per brevi periodi e per operazioni occasionali diverse da *Regular Public Transport (RPT)*.

Un Basic HLS deve:

- Essere sufficientemente grande per ospitare in sicurezza l'elicottero;
- Avere una superficie in grado di resistere ai carichi statici e dinamici imposti dall'elicottero;
- Essere utilizzato solo per le operazioni diurne sotto VMC per elicotteri.

6.13.2 Standard Helicopter Landing Site

Uno **Standard HLS** è destinato ad essere utilizzato per tutti i tipi di operazioni, sia diurne che notturne in *Visual Meteorological Conditions (VMC)* per elicottero, e deve soddisfare le seguenti linee guida relative a FATO, GEA, LLA

FATO

La FATO deve avere un'area circolare con un diametro pari a due volte la lunghezza dell'elicottero, quando il rotore/i sta girando ed essere priva di ostacoli che possano interferire con le manovre dell'elicottero.

Tali dimensioni sono maggiori rispetto a quelle indicate nell'*Helicopter Manual* dell'ICAO in quanto in esso viene fatta per la FATO una distinzione fra le classi di prestazioni degli elicotteri che debbano utilizzarla ma viene prescritto che essa debba essere pari ad un'area entro la quale può essere disegnato un cerchio di diametro non inferiore ad 1.5 volte la lunghezza/larghezza fuori tutto del più lungo/largo elicottero che si prevede l'eliporto debba servire.

GEA

La GEA, in relazione ad un HLS, è una zona che fornisce l'effetto suolo al rotore di un elicottero.

Secondo il regolamento australiano essa deve disporre di una zona circolare con un diametro uguale al diametro del rotore principale dell'elicottero; in alternativa se l'elicottero è del tipo con *rotori in tandem* la GEA deve essere un'area rettangolare con lato maggiore pari alla lunghezza dell'elicottero e lato minore pari al diametro del rotore. Inoltre, la GEA deve essere all'interno della FATO con pendenza complessiva non superiore a 7,5°.

Queste indicazioni differiscono nettamente con l'Annesso 14 ICAO in quanto lì non si fa un riferimento esplicito alla GEA ma viene riportato che la FATO debba fornire effetto suolo. Inoltre, per quanto riguarda la pendenza complessiva, visto che la GEA deve trovarsi all'interno della FATO, sarà quest'ultima a determinarne il valore.

LLA

L'LLA deve avere un'area, in dimensioni, pari ai punti di contatto del carrello d'atterraggio più un metro in eccedenza su tutti i lati; se l'LLA non si trova all'interno della FATO allora deve esserci una "*air taxiing route*", di dimensioni pari a 2 volte il diametro del rotore principale dell'elicottero, tra l'LLA e la FATO.

L'LLA deve essere un'area libera e solida in grado di sopportare il doppio del peso lordo dell'elicottero. Se l'LLA si trova sopra un edificio deve anche essere in grado di sopportare i carichi statici e dinamici coinvolti. La pendenza complessiva dell'LLA, in ogni direzione, non deve superare la massima capacità di pendenza di atterraggio dell'elicottero.

Sentiero di Avvicinamento e di Decollo

Secondo il regolamento vigente in Australia, il sentiero di avvicinamento e di decollo deve estendersi dall'estremità della FATO verso l'esterno e deve avere una pendenza, libera da ostacoli, di 7,5° misurata dall'estremità della FATO ad una quota di 500ft, come riportato in Figura 6.24, al di sopra del livello dell'LLA. Questo sentiero può essere curvato a destra o a sinistra per evitare ostacoli o per usufruire di un avvicinamento più vantaggioso o di un sentiero di decollo.

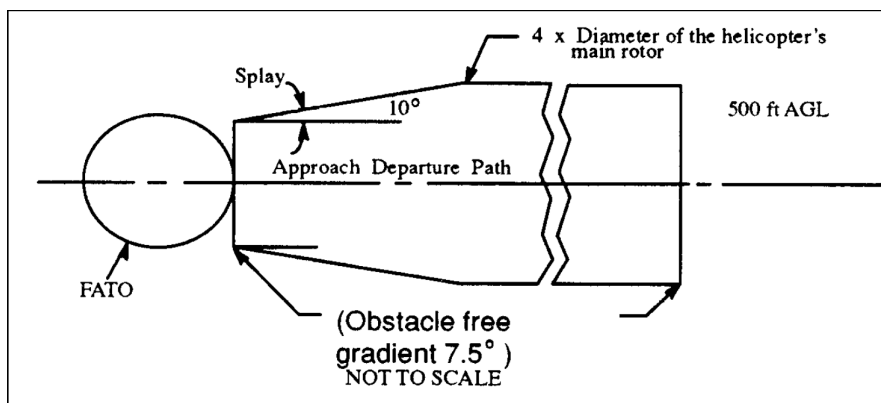


Figura 6.72: Sentiero di avvicinamento e decollo

6.13.3 Standard Helicopter Landing Site posizionati sugli edifici

La normativa australiana prende in considerazione anche Standard HLS collocati sugli edifici. Per tali tipologie di eliporti sono proposte le seguenti linee guida aggiuntive:

Markings. L'HLS deve essere dipinto con una segnaletica (*Marking*) indicante i punti limiti di contatto a terra del carrello di atterraggio su cui l'elicottero può essere posizionato senza pregiudicare le esigenze di spazio.

L'LLA deve essere indicato con un punto di mira, dipinto sull'HLS (questo può assumere qualsiasi forma come ad esempio un cerchio, una lettera o un logo).

L'estremità della FATO deve essere indicata da una riga, larga 40 centimetri, dipinta sul HLS.

Un numero intero (definito **numero indicatore**) indicante il peso dell'elicottero deve essere dipinto sull'HLS. Moltiplicando il **numero indicatore** per 1000 si ottiene il peso dell'elicottero espresso in Kg.

Impianto di scarico. Deve essere previsto un impianto di scarico per evitare la raccolta, la diffusione e la caduta di liquidi su altre parti dell'edificio.

Rete di sicurezza. Il bordo esterno dell'HLS deve essere protetto da una rete di sicurezza, o un dispositivo simile, per evitare il rischio di morte o lesioni dei passeggeri, dell'equipaggio e del personale. La rete di sicu-

rezza deve essere almeno 1,5 metri di larghezza e non deve sporgere più di 25 centimetri dal bordo esterno dell'HLS.

Accessi. L'HLS deve avere vie d'accesso per il personale di emergenza e vie d'accesso principali, separate e il più lontano possibile tra loro.

Estintori. L'HLS deve essere dotato di almeno due estintori ad anidride carbonica, ciascuno con una capacità minima di 4,5 Kg; nelle vie di accesso, principale e d'emergenza, deve essere posizionato un estintore.

Indicatore di direzione del vento. In una zona non ostruita dell'HLS deve essere posizionato un indicatore di direzione del vento in modo che sia facilmente visibile ai piloti di elicotteri in avvicinamento/partenza dall'HLS.

6.13.4 Operazioni notturne

Per le operazioni notturne sono proposte le seguenti linee aggiuntive:

Illuminazione. L'estremità della FATO deve essere definita da luci bianche omnidirezionali che proiettano a non più di 25 centimetri sopra il livello dell'HLS e che siano distanziate a non più di 8 metri tra loro. L'estremità della FATO può, in alternativa, essere definita da una combinazione di segnaletica e illuminazione.

Informazioni sulla velocità del vento. L'HLS deve essere dotato di uno strumento per valutare la direzione e la velocità del vento. Questo compito può essere svolto sia da un indicatore luminoso di direzione del vento situato in un'area non ostruita e visibile dai piloti dell'elicottero in avvicinamento/decollo oppure con qualsiasi altro mezzo idoneo come la comunicazione radio con una persona responsabile posta sopra, o in prossimità, dell'HLS.

Norma di avvicinamento. Quando si ritiene essenziale che il percorso di avvicinamento sia preciso a causa della presenza di ostacoli, la direzione di avvicinamento deve essere indicata da almeno due luci verdi omnidirezionali oppure da una luce di posizione bianca posizionata come nella Figura 6.25.

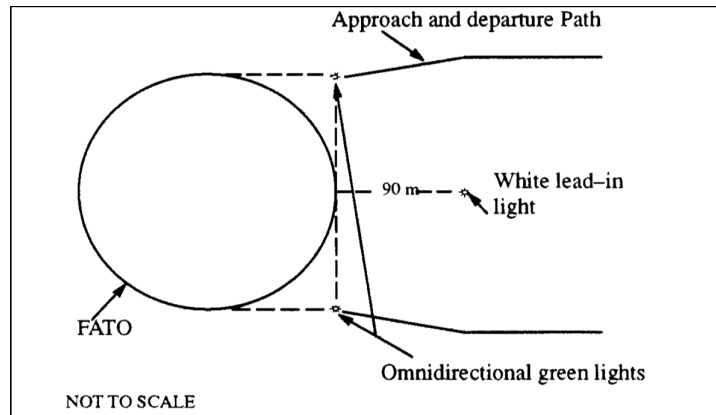


Figura 6.73: Posizionamento luci per operazioni notturne

Qualsiasi **Air Taxiing Route**, come raccomandato per le operazioni diurne, deve avere una larghezza minima pari a tre volte il diametro del rotore principale dell'elicottero ed, in funzione delle esigenze operative, essere segnalate con un contorno blu o con una serie di luci verdi spaziate ad intervalli di 15 metri una dall'altra o ancora essere totalmente illuminate.

Tutte le luci, tranne quelle dell'*Air Taxiing Route*, devono essere visibili, in condizioni di tempo sereno, da almeno 5 Km di distanza.

CAPITOLO 7

MODELLO DI OTTIMIZZAZIONE IN REGIME DI MONOPOLIO

7.1 Introduzione

Quanto prima esposto è servito per sviluppare la parte finale del lavoro e cioè la modellazione e calibrazione di un modello che fosse in grado di gestire l'utilizzo degli elicotteri e di calcolare la tariffa ottimale che dovrebbe adottare una compagnia aerea per ottenere un vantaggio economico dalla realizzazione di una rete di collegamenti elicotteristici di linea in Sicilia.

7.2 Modelli di scelta modale

I modelli di scelta modale stimano la probabilità che un certo ammontare di passeggeri scelgano differenti modalità di trasporto. I fattori che principalmente influiscono sulla scelta sono la frequenza, il tempo di viaggio e le tariffe relative ad ogni modalità di trasporto; in aggiunta possono essere considerati altri fattori che non possono essere quantificati senza un'indagine approfondita, condotta sulle preferenze di coloro che intendono spostarsi da un punto all'altro. Nel lavoro svolto verranno presi in considerazione solo i primi tre fattori.

I modelli di scelta possono essere suddivisi in due categorie: modelli di scelta deterministici e modelli di scelta stocastici. È chiaro che i modelli di tipo stocastico rappresentano meglio ciò che succede nella realtà, ma è pur vero che

tale modello deve essere sempre supportato da indagini territoriali molto approfondite, che a volte possono richiedere un notevole sforzo.

Partendo da tali premesse si prende in considerazione la possibilità di poter collegare due città $i-j$, nel fare ciò si esamina una porzione di popolazione che intende spostarsi da una città all'altra. Si denoterà con " m " il numero di possibili modalità di trasporto e per ciascuna alternativa di trasporto, si evidenzia l'esistenza di una funzione di utilità sistematica, indicata con $V(i)$, dove con i si indicano le modalità di trasporto:

$$i = 1, 2, \dots, m$$

La funzione appare nella seguente formulazione matematica:

$$V_i = \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni}$$

dove:

$X_{1i}, \dots, X_{ni}$ sono gli attributi relativi alla modalità di trasporto i , per esempio il tempo di viaggio, il prezzo del biglietto etc.

$\beta_1, \dots, \beta_n$ sono coefficienti stimati e calibrati mediante indagini. Attraverso tali coefficienti si stabilisce il peso della variazione di ogni singolo attributo. È evidente che tali coefficienti dipendano dalle caratteristiche socio-economiche di un territorio e variano nel tempo e da regione a regione.

In questo modo la $V(i)$ si presenta come una funzione di utilità lineare e di conseguenza anche il modello di scelta modale assumerà la medesima proprietà. Avendo questa caratteristica la funzione $V(i)$ risulterà più grande per il modo di trasporto i nel momento in cui la preferenza dei passeggeri ricadrà maggiormente su tale modalità di trasporto.

È stata, precedentemente, menzionata la possibilità di poter usufruire di modelli stocastici di scelta modale che meglio esprimono il flusso di passeggeri che preferiscono una modalità piuttosto che un'altra. In questo caso il processo di scelta è soggetto a molte variazioni, di conseguenza non è possibile, in generale, riuscire a prevedere con esattezza, quale sarà la modalità di trasporto scelta dall'utente; però è possibile esprimere la probabilità che il decisore scelga la modalità i all'interno di un insieme di scelta I , essendo condizionato dalla possi-

bilità di poter percepire una maggiore utilità dalla modalità di trasporto scelta rispetto alle altre disponibili. Sulla base di quanto detto si definisce un ulteriore parametro detto utilità percepita, evidenziato come $U(i)$ e ottenuto dalla somma dell'utilità sistematica $V(i)$ (rappresentate la media dell'utilità percepita tra gli utenti) e un residuo aleatorio $e(i)$, che rappresenta lo scostamento dell'utilità percepita dall'utente. Scritto in formulazione matematica si ha:

$$U(i) = V(i) + e(i)$$

Quindi la probabilità di scelta alternativa dipende dai valori delle utilità sistematiche di tutte le alternative concorrenti, e dalla legge di distribuzione congiunta dei residui aleatori $e(i)$.

A questo punto si denota la funzione cumulativa di densità $F[.]$ nella seguente formulazione:

$$F[V(i) - V(j) + e(i), \forall j \neq i]$$

Si definisce la funzione densità della variabile causale come $f[e(i)]$. In questo modo si può scrivere la probabilità di scelta alternativa:

$$P(i) = \int_{e(i)} F[V(i) - V(j) + e(i), \forall j \neq i] f[e(i)] d[e(i)]$$

Attraverso tale formulazione si possono ottenere differenti modelli modali di scelta stocastici.

7.3 Modello *logit* di scelta modale

Uno dei modelli di scelta modale conosciuti è il modello *logit*. Questo modello si basa sull'assunzione che le variabili stocastiche $e(i)$, $e(j)$, $e(k)$ sono indipendenti e distribuite secondo la funzione densità probabilità di Gumbel, conosciuta anche come doppia funzione esponenziale. La funzione densità di Gumbel $f(x)$ nella variabile casuale x ha equazione:

$$f(x) = \lambda e^{-x} \cdot e^{-\lambda e^{-x}}$$

dove $\lambda > 0, -\infty < x < +\infty$

La funzione cumulativa $F(x)$ è:

$$F(x) = e^{-\lambda e^{-x}}$$

La probabilità di scelta sulla modalità alternativa è:

$$P(i) = P[U(i) > U(j), \forall j \neq i]$$

Tale equazione può essere scritta come:

$$P(i) = P[U(i) > U(1)] \cdot P[U(i) > U(2)] \cdot \dots$$

Riformulandola attraverso la produttoria si ottiene:

$$P(i) = \prod_{j \neq i} P[U(i) > U(j)]$$

In analogia si può scrivere che

$$P(i) = \int \prod_{j \neq i} F[V(i) - V(j) + e(i), \forall j \neq i] f[e(i)] d[e(i)]$$

Per semplificare l'espressione si sostituisce la variabile casuale $e(i)$ con la y e dalla doppia funzione esponenziale si ricava:

$$F[V(i) - V(j) + y] = e^{-\lambda e^{-[V(i)-V(j)+y]}}$$

Così da ottenere:

$$f(y) = \lambda e^{-y} \cdot e^{-\lambda e^{-y}}$$

Sostituendo (2.10) e (2.11) nella (2.9) si ottiene:

$$P(i) = \int_{-\infty}^{+\infty} \prod_{j \neq i} e^{-\lambda e^{-[V(i)-V(j)+y]}} \cdot \lambda e^{-y} \cdot e^{-\lambda e^{-y}} \cdot dy$$

Per $i=j$ si ha che

$$e^{-\lambda e^{-y}} = e^{-\lambda e^{-[V(i)-V(j)+y]}}$$

Quindi ritornando alla formulazione precedente e sostituendo si ottiene:

$$P(i) = \int_{-\infty}^{+\infty} \prod_j e^{-\lambda e^{-[V(i)-V(j)+y]}} \cdot \lambda e^{-y} \cdot dy$$

Esprimendo la formulazione come sommatoria degli esponenti si ottiene:

$$P(i) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\lambda e^{-y} \sum_i e^{V(j)-V(i)}} \cdot \lambda e^{-y} \cdot dy$$

Nel processo di risoluzione dell'integrale si ha:

$$P(i) = \frac{1}{\sum_j e^{V(j)-V(i)}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\lambda e^{-y} \sum_i e^{V(j)-V(i)}} \cdot dy$$

Essendo:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\lambda e^{-y} \sum_i e^{V(j)-V(i)}} \cdot dy = 1$$

Si ottiene la formulazione finale del modello di scelta modale che assume la seguente formula:

$$P(i) = \frac{1}{\sum_j e^{V(j)-V(i)}} = \frac{e^{V(i)}}{\sum_j e^{V(j)}}$$

I modelli di scelta modale che presentano due alternative rispetto ad una di riferimento sono chiamati modelli di scelta binomiali; quando le alternative modali sono più di due allora si parla di modello di scelta multinomiale. È opportuno sottolineare che nel lavoro svolto si è considerato un modello multinomiale di scelta che considerasse come modalità alternativa all'aereo, il treno e l'automobile. Il collegamento preso in considerazione è relativo a due generiche città i - j .

7.4 Modello di ottimizzazione delle frequenze di volo in regime di monopolio.

Molte compagnie aeree internazionali hanno, nella propria flotta, differenti tipi di aeromobili con distinte capacità e performance. Da questo si deduce che i costi operativi legati alla tipologia di aeromobili differiscono, quindi diventa estremamente importante per una compagnia aerea fare le giuste assegnazioni dei velivoli nel network.

In aggiunta agli effetti economici, per una compagnia la corretta assegnazione degli aeromobili ha ripercussioni anche sulla qualità del servizio offerto ai passeggeri. Ad esempio, un velivolo di grandi dimensioni avrà una capacità di

passenger elevata e congiuntamente volerà su una rotta con basse frequenze di volo e distanze notevoli rispetto ad un aeromobile di modeste dimensioni che, al contrario, ricoprirà tratte più brevi con frequenze più elevate.

Il problema dell'assegnazione è stato considerato da molti autori come Maiman e Peterson, Koning, Gerbracht e Abara. Essi adottarono un modello di assegnazione relativamente semplice, basato su diverse tipologie k di velivoli con voli diretti su un *network* monopolistico senza competizione (le compagnie hanno spesso dai 2 ai 5 tipi di velivoli).

Si considerano le seguenti variabili:

C_{ij} Tariffa per passeggero che si sposta tra le città i e j

λ_{ij} Numero medio di passeggeri che si sposta tra le città i e j

N_{ijk} Frequenza di volo tra le città i e j con aeromobili di tipo k

T_{ijk} Costi operativi di volo tra le città i e j con aeromobili di tipo k

I profitti della compagnia vengono indicati con la D e risultano uguali a :

$$\pi = \sum_{i,j} \left[C_{ij} \cdot \lambda_{ij} - \sum_k T_{ijk} \cdot N_{ijk} \right]$$

La funzione di costo per il collegamento di due o più città viene basata sulla formulazione ideata da Powell. Questi suppose che il costo di volo T_{ijk} fosse direttamente proporzionale alla distanza d percorsa dal velivolo e alla sua capacità in termini di posti che possono essere sfruttati per il trasporto. La formulazione matematica di tale funzione assume la seguente forma:

$$T_{ij}(n, d) = €5.6 \cdot n + (0.46 + 0.0093 \cdot n) \cdot d$$

Si definisce il massimo fattore di carico consentito n_{ijk}^{**} per ogni tipo di aeroplano k presente nella flotta, su una specifica rotta collegante le due città i e j . Com'è stato già detto in precedenza, bisogna ricordare che bassi valori del fattore di carico comportano scarsi risultati economici, mentre elevati valori conducono la compagnia a riscontrare una pessima qualità del servizio. Concordando con questa asserzione si deduce che valori specifici del fattore di carico n_{ijk}^{**} dipendono dalla linea di condotta della compagnia. Si esprime con n_k il numero di posti su un aeroplano di tipo k .ovviamente le capacità di trasporto offerte devono

essere più grandi, o al massimo più uguali al numero di passeggeri che chiedono di spostarsi tra le città i e j .

Matematicamente si scrive che :

$$\sum_k n_{ijk}^{**} n_k N_{ijk} \geq \lambda_{ij} \quad \forall i, j$$

Si intuisce che tale disequazione rappresenta un elemento che vincola la compagnia a soddisfare l'intera domanda di trasporto aereo.

A questo punto, si evidenzia con u_k il massimo numero di rotazioni giornaliere possibili per gli aeromobili di tipo k e con A_k si indica il numero di velivoli di tipo k presenti nella flotta della compagnia. È importante precisare che u_k dipende dalla strutture del *network* dove il velivolo opera e dall'assistenza tecnica periodica fatta su velivoli della compagnia aerea. Si prenda in esame il tempo di volo impiegato da un aeromobile di tipo k che ricopra una certa distanza tra le città i e j . Prendendo in esame tali parametri si può affermare che il numero massimo di voli effettuabili dato dal prodotto tra u_k e A_k , deve essere uguale o maggiore alla sommatoria i, j del prodotto tra il tempo di volo e la frequenza di volo per ogni tipologia di velivolo. In formulazione matematica si può scrivere:

$$\sum_{i,j} t_{ijk} N_{ijk} \leq u_k A_k \quad k = 1, 2, \dots, k$$

Dopo un certo periodo di tempo il numero di decolli e atterraggi, in ogni aeroporto del *network*, deve essere uguale. Questo viene espresso attraverso il seguente vincolo:

$$\sum_j N_{ijk} \geq \sum_j N_{jik} \quad \forall i, k$$

Si mette in luce un'altra variabile: la frequenza di volo minima di espletamento del servizio di trasporto aereo tra le città i e j . Tale frequenza fornisce informazioni sulla qualità de servizio offerto, per tanto i può scrivere la seguente formulazione:

$$\sum_k N_{ijk} \geq N_{ij}^{min} \quad \forall i, j$$

In certi casi l'amministrazione aeroportuale può limitare le compagnie nel numero massimo di partenze senza alcuna distinzione sulla tipologia di velivoli. Per esempio, se vengono adoperate le norme di restrizione sull'inquinamento acustico, perché l'aeroporto è vicino ad un centro abitato. L'espressione matematica che fornisce tale limitazione ha la seguente forma:

$$\sum_k \sum_j N_{ijk} \leq M_i^{max} \quad \forall i$$

Di regola la compagnia vuole trovare quella frequenza che massimizzi i profitti e rispetti tutti i vincoli imposti. Considerata la situazione secondo quest'ottica, il modello può essere ottimizzato come segue:

$$\begin{aligned} & \underset{\forall i,j,k \in \mathfrak{R}}{\operatorname{argmax}} \sum_{i,j} \left[c_{ij} \lambda_{ij} - \sum_k T_{ijk} N_{ijk} \right] \\ \text{s. t. } & \left\{ \begin{array}{l} \sum_k n_{ijk} n_k N_{ijk} \geq \lambda_{ij} \quad \forall i,j \\ \sum_{i,j} t_{ijk} N_{ijk} \leq u_k A_k \quad k = 1, 2, \dots, k \\ \sum_j N_{ijk} \geq \sum_j N_{jik} \quad \forall i, k \\ \sum_k N_{ijk} \geq N_{ij}^{min} \quad \forall i, j \\ \sum_k \sum_j N_{ijk} \leq M_i^{max} \quad \forall i \end{array} \right. \end{aligned}$$

Quando si considerano particolari situazioni alcuni vincoli possono essere rimossi, come per esempio, il vincolo sulle restrizioni aeroportuali in caso di domanda asimmetrica su vari aeroporti del *network* è possibile eliminare il vincolo sull'eguaglianza delle frequenze di decollo e di atterraggio imposte in ogni aeroporto.

Il modello così descritto viene adoperato nel caso di competizione inserendo la funzione di *market share* delle compagnie concorrenti.

7.5 Modello di scelta modale con ottimizzazione delle frequenze di volo.

Il modello *logit* di scelta modale multinomiale, utilizzato in questa trattazione per il collegamento di due generiche città i, j , prende in esame la possibilità di poter utilizzare sia il treno, l'automobile e l'aereo, come potenziali alternative al trasporto.

La funzione di utilità sistematica V_i dipende da tre variabili decisionali e tre coefficienti β . Nel lavoro svolto si adoperano come variabili decisionali la tariffa di spostamento C , la frequenza N e il tempo di viaggio t . la formulazione della funzione V_{aereo} si presenta nella seguente forma:

$$V_{aereo}(N, C, t) = \beta_{1_{aereo}} C_{aereo} + \beta_{2_{aereo}} N_{aereo} + \beta_{3_{aereo}} t_{aereo}$$

Di seguito viene mostrata una tabella in cui vengono esposti i valori dei coefficienti β , delle variabili decisionali, utilizzati per l'implementazione del modello di scelta modale e del costo medio che bisogna sostenere per spostarsi con le varie modalità di trasporto indicate. Bisogna precisare che la distanza considerata tra le due generiche città è di 750 km:

Tabella 7.28:

	$\beta_{1_{costo}}$	$\beta_{2_{freq}}$	$\beta_{3_{tempo}}$	Tariffa media	Frequenza media	Tempo medio
Aereo	-0.18	0.17	-0.54	90,00	10	2h
Treno	-0.12	0.18	-0.75	70,00	7	11h
Auto	-0.04	0	-0.55	250,00	0	11h

In Tabella 7.1 sono riportati i valori di funzioni di utilità e di probabilità di scelta modale forniti dal modello *logit*, mediante i valori riportati nella Tabella 7.2.

Tabella 7.29

	V_i	$P(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_i e^{V_i}}$
Aereo	-14.68	57%
Treno	-15.39	28%
Auto	-16.05	15%

Le frequenze del treno sono state rilevate visionando la tabella degli orari di partenza, in una giornata tipo, messa a disposizione dalle ferrovie dello stato sul web. La stessa cosa è stata fatta riguardo le frequenze di volo: si è preso un numero di frequenze relative ad una sola compagnia, che superasse di gran lunga tutte le altre, al punto da considerare un'egemonia che rendesse lecito pensare a un regime di monopolio su tale tratta.

A questo punto è stata effettuata un'implementazione del modello di ottimizzazione delle frequenze di volo, integrandolo con la probabilità di scelta modale attraverso il modello *logit*, costituendo in questa maniera un modello completo che sfrutti entrambe le caratteristiche dei modelli.

- λ_{0ij} rappresenta il numero totale dei passeggeri che intendono spostarsi dalla città i alla città j
- V_{aereo} funzione di utilità sistematica relativa all'aeromobile
- V_{treno} funzione di utilità sistematica relativa al treno
- V_{auto} funzione di utilità sistematica relativa all'automobile

Le funzioni di utilità, del treno e dell'automobile, adoperate nel modello completo assumono valore pari a quello indicato nella Tabella 7.2, mentre quello dell'aereo varia in quanto i valori di frequenza di volo e di prezzo del biglietto sono le variabili del problema da cui la funzione di utilità dipende. Il modello completo viene così scritto nella seguente maniera

$$\begin{aligned}
 \underset{\forall i,j,k \in \mathfrak{R}}{\operatorname{argmax}} \pi &= \sum_{i,j} \left[\lambda_{0ij} \frac{e^{V_{aereo}(C,N,t)}}{e^{V_{treno}} + e^{V_{auto}} + e^{V_{aereo}(C,N,t)}} c_{ij} - \sum_k (T_{ijk} \cdot N_{ijk}) \right] \\
 s. t. \quad &\begin{cases} \sum_k n_{ijk}^* \cdot n_k \cdot N_{ijk} \geq \lambda_{0ij} \frac{e^{V_{aereo}(C,N,t)}}{e^{V_{treno}} + e^{V_{auto}} + e^{V_{aereo}(C,N,t)}} & \forall i, j \\ \sum_k t_{ijk} \cdot N_{ijk} \leq u_k A_k & \forall k \end{cases}
 \end{aligned}$$

L'implementazione è stata effettuata in ambiente *Gamside (General Algebraic Modeling System Compilation)*, nel quale mediante un algoritmo di calcolo, scritto per la risoluzione del modello esposto, si ottengono le frequenze di volo che ottimizzano i profitti della compagnia. Inoltre, va aggiunto che la simula-

zione è stata effettuata mediante l'utilizzo di un programma non lineare di risoluzione sui modelli matematici definito come *NPL*(non linear programming).

Oltre alla simulazione relativa alla frequenza, né è stata fatta un'altra che individuasse la variazione del prezzo del biglietto bloccando la frequenza a un valore predefinito e facendola variare ogni volta che si rifacesse una nuova simulazione ottenendo variazioni del prezzo del biglietto in funzione della frequenza di volo imposta. In pratica l'ottimizzazione del problema viene eseguito avendo preso in esame, come variabile parametrica la frequenza di volo garantendo comunque la massimizzazione dei profitti.

Si è svolta, allo stesso modo, un'ulteriore simulazione in cui entrambe le variabili fossero aleatorie. I risultati di tali simulazioni verranno mostrati nel quarto capitolo della trattazione.

7.6 Modello bi-livello in regime monopolistico.

In questo paragrafo viene completata la trattazione sul regime monopolistico affrontando la questione contemporaneamente su due fronti. Infatti l'ottimizzazione non riguarda solo la massimizzazione dei profitti, bensì la soddisfazione dell'utenza nell'adoperare il sistema di trasporto comprensivo di tutte le sue modalità.

La variabile di soddisfazione rappresenta una grandezza molto importante associata a qualsiasi contesto di scelta relativo ad un insieme di alternative di trasporto disponibili per un generico utente che tenga conto delle utilità percepite U , a sua volta somma della funzione delle utilità sistematiche e dei residui aleatori. Come detto precedentemente bisogna ricordare che le utilità percepite sono variabili aleatorie e che il j – esimo decisore sceglie sulla base della massima utilità percepita $U_j(i)$:

$$U_j(i) = \max_i \{U_j(i)\} = \max U(i)$$

La $U_j(i)$ rappresenta il valore dell'utilità percepita dedotta dall'utente in un contesto di scelta che purtroppo non è noto a chi analizza la problematica,

perché non conosce il valore massimo delle utilità percepite; di conseguenza $U_j(i)$ rappresenta, a tutti gli effetti, una variabile aleatoria.

Si definisce come variabile di soddisfazione s^j il valore atteso dalla massima utilità percepita, ovviamente associato ad un contesto di scelta per il decisore j :

$$\begin{aligned} s^i = s^i(V) &= E[U_j(i)] = E\left[\max_i U(i)\right] = E\left[\max(V(i) + e(i))\right] = \\ &= \int \cdots \int \cdots \int \max(V(i) + e(i))f(e)de \end{aligned}$$

Dall'equazione precedente si evidenzia che la variabile la soddisfazione è funzione dei valori delle utilità sistematiche di tutte le alternative, la cui dipendenza deriva dalla legge di probabilità congiunta dei residui aleatori, $f(e)$ oltre che dall'insieme di scelta delle varie modalità di trasporto.

La variabile di soddisfazione viene molto spesso adoperata per la creazione dei modelli di domanda di trasporto e per valutare la possibilità di poter effettuare interventi su un sistema di trasporto e per valutare la possibilità di poter effettuare interventi su un sistema di trasporto che non funziona secondo le aspettative degli utenti.

La variabile di scelta associata a un determinato contesto di scelta è sempre maggiore o uguale alla massima utilità sistematica:

$$s(V) \geq \max (V) \quad (7.1)$$

Infatti per definizione si ha:

$$s(V) = \int_{e=-\infty}^{+\infty} \cdots \int_{e_m=-\infty}^{+\infty} \max(V(i) + e(i))f(e)de$$

Essendo $f(e) \geq 0$ e $\max (V + e) \geq V_k + e_k \quad \forall k \in I$, dove I rappresenta l'insieme delle varie modalità di trasporto, risulta:

$$s(V) = \int_{e=-\infty}^{+\infty} \cdots \int_{e_m=-\infty}^{+\infty} \max(V(i) + e(i))f(e)de \geq V_k + E[e_k] = V_k \quad \forall k \in I$$

Cioè $s(V) > V_k \quad \forall k \in I$ di conseguenza la $s(V)$ risulta essere più grande o al più uguale del più alto valore delle utilità sistematiche. Il valore atteso dalla

utilità percepita sarà maggiore del massimo valore atteso delle utilità percepite. Si può aggiungere che l'utilità sistematica media, calcolata come valore medio delle utilità sistematiche di tutte le alternative k , esaminata mediante l'utilizzo delle rispettive probabilità di scelta $P_k(V)$. l'utilità sistematica così definita risulta minore o uguale alla soddisfazione dell'utente.

Infatti dall'espressione (7.1) si ottiene:

$$P(V)^T V = \max(V) \leq s(V)$$

Al fine di un accurato esame della variabile di soddisfazione è utile riferirsi al modello *logit* multinomiale essendo possibile, in questo modo, esprimere la variabile in forma chiusa. Bisogna, infatti, ricordare che il modello *logit* è ottenuto nell'ipotesi che i residui aleatori sono distribuiti come variabili di Gumbel, per la proprietà di stabilità rispetto alla massimizzazione della variabile di Gumbel. In questo caso la soddisfazione è data come:

$$s(V) = \theta \ln \sum_i \exp\left(\frac{V^i}{\theta}\right)$$

Da tale espressione si nota che la soddisfazione dell'utente, rispetto a un modello multinomiale, aumenta se l'utilità sistematica, di una o più alternative, subisce un incremento; possibile perché le funzioni *exp* e *ln* sono entrambe funzioni monotone crescenti. Inoltre si precisa che la soddisfazione degli utenti aumenta con l'incremento del numero di alternative di trasporto disponibili. Quindi l'inserimento di una sola modalità di trasporto apporta un aumento della massima utilità percepita, anche nel caso in cui la nuova alternativa abbia un'utilità sistematica inferiore a quella già esistente; infatti ci sarà qualche utente che percepirà la nuova alternativa come di massima utilità per cui per tali fruitori del servizio aumenta U_{max} cioè la soddisfazione.

Nel caso specifico del lavoro svolto in questa sede, le modalità di trasporto relative al sistema di trasporto considerato sono l'aereo, il treno e l'automobile privata. In questo modo il modello si trasforma in bi-livello, in quanto oltre ai profitti si ha un riscontro sulla qualità del servizio avendo considerato la soddisfazione dell'utenza. La formulazione matematica è uguale a :

$$S = \log[e^{V_{aereo}(C,N,t)} + e^{V_{treno}} + e^{V_{auto}}]$$

Tale formulazione va aggiunta ai vincoli del modello del completo illustrato sopra, in questo modo il problema dell'ottimizzazione del sistema di trasporto si modifica in bi-livello.

$$\begin{aligned} \underset{\forall i,j,k \in \mathfrak{R}}{\operatorname{argmax}} \pi &= \sum_{i,j} \left[\lambda_{0ij} \frac{e^{V_{aereo}(C,N,t)}}{e^{V_{treno}} + e^{V_{auto}} + e^{V_{aereo}(C,N,t)}} c_{ij} - \sum_k (T_{ijk} \cdot N_{ijk}) \right] \\ \text{s. t.} \quad &\begin{cases} \sum_k n_{ijk}^* \cdot n_k \cdot N_{ijk} \geq \lambda_{0ij} \frac{e^{V_{aereo}(C,N,t)}}{e^{V_{treno}} + e^{V_{auto}} + e^{V_{aereo}(C,N,t)}} & \forall i,j \\ \sum_k t_{ijk} \cdot N_{ijk} \leq u_k A_k & \forall k \end{cases} \\ \underset{\forall i,j,k \in \mathfrak{R}}{\operatorname{argmax}} S &= \log[e^{V_{aereo}(C,N,t)} + e^{V_{treno}} + e^{V_{auto}}] \end{aligned}$$

Qualsiasi azienda di trasporto dipende dai propri clienti, pertanto esse devono cercare di capire le esigenze presenti e future degli utenti, soddisfacendole e nel contempo cercare di mirare a superarne le aspettative. L'obiettivo così esposto può essere raggiunto solo attraverso un continuo miglioramento, nel tempo, delle prestazioni aziendali che devono restare la meta prefissata dell'intera organizzazione aziendale. Analizzando quanto esposto si può fare maggiore chiarezza sul concetto di programmazione bi-livello, infatti in questo modo diventa più semplice capire la doppia natura di tale aspetto. Nel caso specifico trattato la compagnia non fa altro che massimizzare i propri profitti intervenendo su due variabili decisionali C_{ij} (Tariffa) e N_{ijk} (Frequenza di volo). Da questo punto di vista la compagnia fa un'offerta e l'utenza può scegliere o no di viaggiare con tale modalità di trasporto. Da quanto detto il cliente sceglie in funzione all'utilità percepita dalla modalità di trasporto scelta. Affinché l'utilità percepita per l'aereo sia molto più elevata delle altre modalità di trasporto, la compagnia deve garantire una tariffa bassa e una frequenza piuttosto elevata. Tale obiettivo può essere raggiunto solo se la compagnia riesce a migliorare la propria organizzazione interna e se può disporre di mezzi tecnologicamente molto avanzati che facciano abbassare i costi di volo. Il modello proposto, in questo modo, fornisce un punto di compromesso tra gli interessi della compagnia e quelli dell'utenza che si avva-

le ti tale modalità di trasporto. In questo modo si garantisce una buona soddisfazione dell'utenza e nel contempo la compagnia riesce a massimizzare i propri profitti che dipendono, quindi, anche della qualità del servizio offerto.

CONCLUSIONI

L'opinione pubblica in Italia vede l'elicottero come un mezzo adibito esclusivamente alla soluzione di situazioni di emergenza, ed in effetti, per questi fini, esso è determinante se non addirittura fondamentale; tuttavia, la mobilità a livello regionale può essere notevolmente migliorata grazie all'utilizzo di questo mezzo, proprio come già avviene in diversi paesi dell'Unione Europea e del mondo.

L'analisi dei costi operativi ha mostrato come la spesa sui costi variabili per far volare un elicottero si aggiri intorno a 1500 \$/h e a questo va aggiunto mediamente un 30%, relativo ai costi fissi. La prima aliquota tiene conto della spesa attinente al carburante, spesa estremamente imprevedibile da calcolare per il continuo variare del prezzo del petrolio, e quella relativa alla manutenzione. La seconda aliquota, i costi fissi, considera i costi dell'equipaggio, quelli relativi all'acquisto dei mezzi, le assicurazioni e le spese di gestione in generale. Ai costi operativi, la compagnia, che vorrà effettuare tale servizio di trasporto, dovrà aggiungere i costi non operativi derivanti dalla tipica gestione di un servizio di trasporto.

L'analisi della domanda di trasporto, ha mostrato rispetto a questo nuovo servizio un effettivo interesse da parte dell'utenza, interesse comunque condizionato dalla disponibilità economica del passeggero. In particolare, è stato rilevato che il trasferimento in elicottero verrebbe scelto dal 13,8% di coloro che hanno reddito inferiore a 75.000 €, dal 44,6% di coloro che hanno reddito compreso fra

75.000 € e 150.000 € e dall'85,8% di coloro che hanno reddito superiore a 150.000 €.

Dai risultati in possesso emerge, inoltre, che un rilevante numero di persone facenti parte del campione ha dichiarato di non essere disposto a viaggiare in elicottero. Il superamento di tali remore può avvenire attraverso adeguate strategie comunicative tendenti a mettere in luce la sicurezza e la convenienza del servizio.

Tramite la calibrazione del modello si è potuto, infine, realizzare il calcolo della tariffa di ottimizzazione del servizio. Tale tariffa è risultata essere pari, effettuando una media tra le tratte analizzate, a circa 165 €.

Il risultato ottenuto è in linea con le aspettative e pone il mezzo in questione come una scelta per utenti ad alto reddito. La situazione muterebbe drasticamente se fossero utilizzati dei finanziamenti pubblici, almeno in alcune tratte, come quelli stanziati per la continuità territoriale con le isole minori.

È comunque da sottolineare che, applicando il concetto di “costo generalizzato del trasporto” alle varie modalità di trasporto esaminate (treno, auto, elicottero), grazie ai tempi estremamente ridotti, sia di percorrenza sia di accesso al terminal, l'elicottero risulta essere, per la categoria di passeggeri precedentemente citata, una più che valida alternativa di trasporto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Amoroso S., Migliore M., Catalano M., Leone S., “The helicopter for passenger transport on a regional scale”, 4th Kuhmo-Nectar Conference e Summer School on “Transport and Urban Economics”, Technical University of Denmark, 29 Giugno – 3 Luglio, 2009.
- [2] Conklin and de Decker, “Aircraft Cost Evaluator”, Gennaio, 2009;
- [3] Correnti, V., Ignaccolo, M., Inturri, G., “Regional air transport in Europe: the potential role of the civil tiltrotor in reducing airside congestion”, Journal of Air Transportation, 2006.
- [4] Correnti V., Santoro G., Inturri G., “Il ruolo del tilt-rotor per lo sviluppo del trasporto aereo nell’area di libero scambio euro-mediterranea”, Offset Studio Editore, Palermo, 2008.
- [5] Jane’s, “Helicopter Markets and Systems”, David Oliver editore, Febbraio, 2007.
- [6] Johnson W., “Helicopter Theory”, Princeton University Press, 1980.
- [7] La Franca, L., Castelluccio, F., Montano, F., “Helicopter lines: demand and cost analysis”, 5th UrbanPromo, International Conference, “Transportation Decision Making: Issues, Tools, Models and Case Studies”, Dipartimento di Urbanistica dell’Università di Venezia, IUAV, 2008.

- [8] Lupi, M., “Metodi e modelli per la simulazione e verifica di un sistema di trasporto aereo: uno stato dell’arte”, Franco Angeli editore, 2004.
- [9] Ortuzar J., Willumsen L. G., Meloni I., “Pianificazione dei sistemi di trasporto: Metodi quantitativi - Congestione e scelte di viaggio - Politiche e decisioni sugli investimenti”, Milano Hoepli, 2004.
- [10] Pasetto, M., “Prospettive di utilizzo dell’elicottero in una rete integrata di trasporto: il modello veneto”, XI convegno S.I.I.V., Verona, 2001.
- [11] Parroco A.M., Vaccina F., “Isole Eolie, Quanto Turismo?! – Analisi dei mercati turistici regionali e sub regionali”, Studi turistici per il turismo, CLEUP editore, 2005.
- [12] Regione Siciliana, Assessorato del Turismo delle Comunicazioni e dei Trasporti, “Rapporto sul turismo in Sicilia”, 2003.
- [13] Regione Siciliana, Assessorato del Turismo delle Comunicazioni e dei Trasporti, “Rapporto sul turismo in Sicilia 2005/2006 – I flussi dell’incoming nazionali ed internazionali”, 2006.
- [14] Regione Siciliana, Assessorato del turismo delle Comunicazioni e dei Trasporti, “Piano Regionale dei Trasporti e della Mobilità”, 2001