

Giuseppe Mingione – Massimo Barocco

**IL VOLO IN CONDIZIONI
FAVOREVOLI ALLA
FORMAZIONE DI
GHIACCIO**

IBN Editore

INDICE

1) INTRODUZIONE.....	13
2) RICHIAMI DI METEOROLOGIA.....	15
2.1) Le nuvole.....	15
2.1.1) Generalità.....	15
2.1.2) Formazione.....	17
2.1.3) Classificazione e abbreviazioni.....	22
2.1.4) Le nubi ed il ghiaccio.....	23
2.2) Formazione delle precipitazioni.....	26
2.3) Strumenti principali per l'analisi meteorologica.....	27
2.3.1) 'TAF/METAR/SPECI/TREND'.....	28
2.3.2) Airmets e sigmets.....	32
2.3.3) I Pirep.....	34
2.3.4) Carte meteorologiche del tempo significativo.....	37
2.3.5) Snotam.....	40
2.3.6) Stato di contaminazione della pista.....	40
2.3.7) Il radar meteorologico.....	41
2.4) Indice di severità del ghiaccio.....	43
3) FISICA DELL'ACCRESIMENTO DEL GHIACCIO.....	46
4) AERODINAMICA.....	54
4.1) Introduzione.....	54
4.2) Gli effetti dell'accumulo di ghiaccio sulle prestazioni del profilo.....	56
4.3) Gli effetti dell'accumulo di ghiaccio sulle caratteristiche di controllabilità del velivolo.....	61
5) I SISTEMI PER L'INDIVIDUAZIONE DEL GHIACCIO.....	68
5.1) Sistemi basati su sonde visive.....	69
5.2) Sistemi per l'individuazione della formazione del ghiaccio.....	71
5.3) Sistemi per la determinazione dello spessore del ghiaccio.....	73
5.4) Sistemi basati sul monitoraggio delle prestazioni aerodinamiche.....	75
5.5) Sistemi basati sulla visualizzazione delle superfici.....	76
5.6) Sistemi basati su sensori remoti.....	76
5.7) Sistemi specifici per l'identificazione del ghiaccio al suolo.....	77
5.7.1) Sistemi volti a determinare la necessità delle procedure di sghiacciamento/antighiaccio.....	77
5.7.2) Sistemi volti a controllare l'efficacia dei fluidi protettivi.....	79
5.8) Sistemi miscelanei.....	80
5.9) Sommario dei sistemi per l'individuazione del ghiaccio.....	82
5.10) La FAR/JAR 25, Appendice C e la problematica del volo in 'severe icing conditions'.....	83

6) I SISTEMI PER LA PROTEZIONE DAL GHIACCIO	84
6.1) Sistemi ad aria calda	84
6.1.1) Generalità	84
6.1.2) Peculiarità di funzionamento	86
6.2) Sistemi elettro-termici	86
6.2.1) Generalità	86
6.2.2) Peculiarità di funzionamento	87
6.3) Sistemi pneumatici	88
6.3.1) Generalità	88
6.3.2) Peculiarità di funzionamento	90
6.4) Sistemi basati sull'applicazione di fluidi protettivi	91
6.4.1) Generalità	91
6.4.2) Peculiarità di funzionamento	92
6.5) Sistemi ad impulsi pneumatici (PIIP)	93
6.5.1) Generalità	93
6.5.2) Peculiarità di funzionamento	93
6.6) Sistemi elettro-impulsivi (EIDI)	94
6.6.1) Generalità	94
6.6.2) Peculiarità di funzionamento	95
6.7) Sistemi elettro-espulsivi (EEDI)	95
6.7.1) Generalità	95
6.7.2) Peculiarità di funzionamento	96
6.8) Sommario dei sistemi di protezione	97
6.9) I fluidi per la protezione dal ghiaccio al suolo	97
6.9.1) Generalità	97
6.9.2) Peculiarità operative	99
7) ESEMPI DI INTEGRAZIONE DEI SISTEMI SVILUPPATI PER FRONTEGGIARE LA FORMAZIONE DEL GHIACCIO	101
7.1) AP68TP-600 VIATOR	101
7.2) ATR 72	104
7.3) MD80	107
7.3.1) Sistema riscaldamento blindovetri	109
7.3.2) Sistema riscaldamento sonde pitot-statiche	109
7.3.3) Sistema antighiaccio motore	109
7.3.4) Sistema antighiaccio superfici	109
7.3.5) Dispositivi di rilevamento del ghiaccio sull'ala	110
7.3.6) Sistema di avviso formazione di ghiaccio sull'ala	110
7.3.7) Sistema di segnalazione avarie	110
7.4) B767	111
7.4.1) Sistema riscaldamento blindovetri	111
7.4.2) Sistema riscaldamento sonde pitot-statiche	111

7.4.3) Sistema antighiaccio motore	112
7.4.4) Sistema antighiaccio superfici	112
7.4.5) Interruttore 'test' sistemi antighiaccio	113
7.4.6) Sistema di segnalazione avarie	113
8) SEZIONI DEL MANUALE DI VOLO CONCERNENTI I SISTEMI ANTIGHIACCIO	114
9) EFFETTI DEL GHIACCIO SUI VELIVOLI	116
9.1) Stallo dell'ala	116
9.1.1) Descrizione	116
9.1.2) Criteri di prevenzione	117
9.1.3) Azioni di recupero	117
9.2) Stallo del piano orizzontale di coda (ICTS)	118
9.2.1) Descrizione	118
9.2.2) Identificazione	121
9.2.3) Criteri di prevenzione	122
9.2.4) Azioni di recupero	123
9.3) Instabilità laterale (Icing Contaminated Roll Upset – ICRU)	124
9.3.1) Descrizione	124
9.3.2) Criteri di prevenzione	125
9.3.3) Azioni di recupero	127
9.4) Formazione di ghiaccio al suolo	127
9.5) Ghiaccio per induzione / aspirazione / espansione / cambiamento di stato	133
9.6) Ghiaccio al carburatore	134
9.6.1) Descrizione	134
9.6.2) Identificazione	135
9.6.3) Criteri di prevenzione	136
9.6.4) Azioni di recupero	137
9.7) Ghiaccio all'elica	138
9.7.1) Sistema di protezione non funzionante	138
9.7.2) Condizioni di ghiaccio "severe"	138
9.7.3) Quote molto alte	139
9.8) Ghiaccio alle antenne e sonde strumentali	139
9.8.1) Ghiaccio alle antenne	139
9.8.2) Ghiaccio al tubo di pitot	139
9.8.3) Ghiaccio alla sonda EPR	140
9.8.4) Ghiaccio sulle alette indicatrici d'incidenza	141
9.9) Contaminazione del blindovetro	141
10) LE OPERAZIONI DI VOLO	142
10.1) Introduzione	142
10.2) Analisi della situazione meteorologica	143

10.2.1) Considerazioni generali.....	143
10.2.2) Azioni principali.....	143
10.3) Pre-volo.....	144
10.3.1) Considerazioni generali.....	144
10.3.2) Considerazioni sulle procedure di sghiacciamento ed antighiaccio.....	145
10.3.3) Azioni principali.....	147
10.4) Rullaggio.....	148
10.4.1) Considerazioni generali.....	148
10.4.2) Azioni principali.....	152
10.5) Decollo.....	153
10.5.1) Considerazioni generali.....	153
10.5.2) Azioni principali.....	157
10.6) Salita.....	158
10.6.1) Considerazioni generali.....	158
10.6.2) Principali azioni.....	163
10.7) Crociera.....	163
10.7.1) Considerazioni generali.....	163
10.7.2) Principali azioni.....	165
10.8) Discesa.....	166
10.8.1) Considerazioni generali.....	166
10.8.2) Azioni principali.....	169
10.9) Avvicinamento ed atterraggio.....	169
10.9.1) Considerazioni generali.....	169
10.9.2) Azioni principali.....	171
11) ALCUNI TIPICI INCIDENTI AERONAUTICI.....	173
11.1) 22 Marzo 1992; Fokker 28 presso l'aeroporto LA GUARDIA (USA): ghiaccio al suolo.....	174
11.1.1) Sintesi dell'incidente.....	174
11.1.2) Gli insegnamenti principali.....	176
11.2) 31 Ottobre 1994; ATR 72 presso Roselawn (USA): instabilità laterale (ICRU).....	177
11.2.1) Sintesi dell'incidente.....	177
11.2.2) Gli insegnamenti principali.....	178
11.3) 4 Gennaio 1993; Fairchild SA227 presso Blountville (USA): ghiaccio al motore.....	180
11.3.1) Sintesi dell'incidente.....	180
11.3.2) Gli insegnamenti principali.....	181
11.4) 1 Dicembre 1974; B-727 presso Thiells, New York (USA): ghiaccio alle sonde strumentali.....	182
11.4.1) Sintesi dell'incidente.....	182

11.4.2) Gli insegnamenti principali.....	183
11.5) 11 Novembre 1998; Saab 340A presso Melbourne (Australia): stallo per ghiaccio sulle ali.....	183
11.5.1) Sintesi dell'incidente.....	183
11.5.2) Gli insegnamenti principali.....	184
11.6) 9 Gennaio 1997; Embraer -120RT (USA): mancato utilizzo dei 'boots' pneumatici.....	185
11.6.1) Sintesi dell'incidente.....	185
11.6.2) Gli insegnamenti principali.....	186
11.7) 15 Gennaio 1977; Vickers Viscount presso Bromma: stallo del piano orizzontale di coda (ICTS).....	187
11.7.1) Sintesi dell'incidente.....	187
11.7.2) Gli insegnamenti principali.....	188
12) REGOLAMENTI.....	189
12.1) Documentazione operativa.....	189
12.2) I requisiti della certificazione.....	190
12.2.1) L'inviluppo della FAR/JAR 25 appendice C.....	192
12.2.2) Formazioni di ghiaccio dovute a condizioni meteorologiche particolari.....	196
13) GLOSSARIO.....	198
14) BIBLIOGRAFIA.....	212
APPENDICE: TABELLE USATE PER DETERMINARE I TEMPI DI 'HOLDOVER'.....	217

1) INTRODUZIONE

Nonostante gli sviluppi tecnologici ed i progressi nelle tecniche di previsione meteorologiche, le operazioni di volo a bassa temperatura continuano a rappresentare un problema critico per i piloti e per tutti coloro che sono coinvolti nelle problematiche di sicurezza del volo.

I problemi del volo in atmosfera fredda ed umida erano noti fin dagli albori dello sviluppo aeronautico: lo stesso Linderbergh rischiò di fallire il suo primo volo trans-oceanico nel 1927 a causa dei problemi causati dall'accumulo di ghiaccio sul suo '*Spirit of St. Louis*'.

Non solo i problemi legati alla formazione del ghiaccio non sono stati ancora del tutto risolti, ma negli ultimi anni c'è stato un aumento d'interesse per la problematica. Infatti le ultime stime indicano che il numero degli utenti del trasporto aereo raddoppierà nei prossimi venti anni: il conseguente incremento del traffico aereo perciò implicherà un aumento dell'esposizione alle condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio. Questo è ancora più vero perché è previsto un particolare sviluppo dell'aviazione regionale (sia turboelica che turboreattore) ed i velivoli impiegati in questo settore del trasporto aereo sono, in generale, i più esposti alle condizioni atmosferiche ostili (altitudine di volo più basse, meno potenza disponibile per i sistemi di protezione dal ghiaccio, etc.).

A tal fine il presente lavoro vuole rappresentare un piccolo contributo alla sicurezza delle operazioni condotte in tali condizioni meteorologiche, infatti si ritiene che, per fronteggiare efficacemente i problemi legati alla formazione del ghiaccio, i piloti, non solo devono avere una comprensione completa del manuale di volo dell'aeromobile su cui operano, ma anche dei principi di base che provocano la formazione del ghiaccio e dei suoi effetti sul velivolo.

Questo lavoro inoltre, tenterà di individuare le corrette procedure per le operazioni di volo in condizioni meteorologiche avverse e spiegare perché queste procedure devono essere seguite.

Le problematiche principali affrontate in questo libro sono: i principi meteorologici di base, la fisica della formazione del ghiaccio, gli effetti del ghiaccio sui velivoli. Nel volume è anche presentata una visione d'insieme dei sistemi di identificazione e di protezione dal ghiaccio e, a tal fine, sono illustrati esempi completi di sistemi di protezione dal ghiaccio di alcuni velivoli tipici: un aereo di aviazione generale, un '*commuter*', ed un velivolo a medio/lungo raggio.

A titolo di esempio poi, è stata riportata anche la descrizione di alcuni incidenti provocati dal ghiaccio.

Questo volume si indirizza espressamente sia agli allievi piloti che agli istruttori di volo, ma può comunque essere anche consultato da studenti di ingegneria aeronautica che vogliono avere una visione d'insieme del problema della formazione del ghiaccio.

AVVISO IMPORTANTE

POICHE' QUESTO VOLUME NON SI RIFERISCE AD ALCUN VELIVOLO SPECIFICO, NE' AD UNA PARTICOLARE CLASSE DI VELIVOLI, TUTTE LE CONSIDERAZIONI RIPORTATE DEVONO SEMPRE ESSERE VERIFICATE CON QUELLE CONTENUTE NEL MANUALE DI VOLO DEL VELIVOLO SPECIFICO (AFM/AOM). QUINDI QUESTO VOLUME NON SOSTITUISCE IN ALCUN MODO IL MANUALE DI VOLO DEL VELIVOLO.

ANCHE PER LE OPERAZIONI CONDOTTE IN CONDIZIONI FAVOREVOLI ALLA FORMAZIONE DI GHIACCIO SI RACCOMANDA DI FAR SEMPRE RIFERIMENTO ALLA DOCUMENTAZIONE UFFICIALE DEL VELIVOLO SPECIFICO.

CONSULTARE QUESTO VOLUME SOLO PER AVERE UNA VISIONE D'INSIEME DEL PROBLEMA 'GHIACCIO' E PER ACQUISIRE UNA MIGLIORE COMPrensIONE DEL MANUALE DI VOLO.

INFINE SI RICORDA CHE I REGOLAMENTI, LE PROCEDURE, LA DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI FAVOREVOLI ALLA FORMAZIONE DI GHIACCIO SONO SOGGETTI A CONTINUI AGGIORNAMENTI E MODIFICHE: PERCIO' TUTTI I DATI E LE TAVOLE RIPORTATE IN QUESTO DOCUMENTO DEVONO ESSERE CONSIDERATI SOLO COME ESEMPI.

RIFERIRSI SEMPRE ALLA DOCUMENTAZIONE UFFICIALE DELL'AEROMOBILE PER LE OPERAZIONI DI VOLO.

2) RICHIAMI DI METEOROLOGIA

2.1) Le nuvole

2.1.1) Generalità

Affinché si verifichi un accumulo di ghiaccio sulle superfici di un velivolo è necessaria la presenza di nuvole (umidità visibile) a temperature relativamente basse. Le formazioni di ghiaccio sui velivoli sono causate da gocce d'acqua sopraffusa che solidificano dopo aver colpito le superfici esterne del velivolo. Le gocce d'acqua sopraffusa sono gocce d'acqua che rimangono allo stato liquido anche a temperature al di sotto della temperatura di congelamento (0° C). Le nuvole possono contenere anche particelle di ghiaccio, ma poiché quest'ultime non aderiscono facilmente alla superficie del velivolo, non rappresentano un vero pericolo per il volo.

Al fine di comprendere il fenomeno della formazione del ghiaccio è importante chiarire che, contrariamente a quanto s'immagina comunemente, l'acqua non congela necessariamente a 0° C. In effetti, come già accennato, in natura possono esistere gocce d'acqua sopraffusa a temperature ben al di sotto di 0 °C. Una goccia d'acqua sopraffusa per congelare deve venire a contatto con una piccola particella solida, chiamata *nucleo*. La capacità dei nuclei di causare la solidificazione della goccia d'acqua dipende dalla temperatura. A temperature relativamente calde, al di sopra di -10°C, esistono solo pochi nuclei attivi e conseguentemente le nuvole sono principalmente formate da gocce liquide e da pochi cristalli di ghiaccio. In queste condizioni il pericolo di formazione del ghiaccio sul velivolo è molto alto. Quando la temperatura si avvicina ai -40 °C, i nuclei non sono più necessari per il congelamento in quanto a queste temperature le gocce d'acqua solidificano spontaneamente. Quanto detto è illustrato in figura 2.1 dove è riportata la percentuale di nuvole senza cristalli di ghiaccio (nuvole liquide) in funzione della temperatura ambiente.

La maggior parte delle nuvole si forma in virtù del fatto che l'aria umida, a seguito di un sollevamento, si raffredda, aumenta gradualmente la sua umidità relativa ed infine diventa satura. Una massa d'aria si definisce *satura* quando la sua umidità relativa è pari al 100%; in altri termini, in una massa d'aria satura, il contenuto d'umidità è tale da non poter accogliere altro vapore acqueo, per cui ogni particella di vapore aggiuntiva comincia a condensare sotto forma di goccia liquida. Gli spostamenti verticali dell'aria sono controllati dalla stabilità della colonna d'aria che, a sua volta, dipende dal confronto tra il gradiente termico dell'aria in movimento e quello dell'aria circostante. Il gradiente termico è la naturale variazione della temperatura con la quota. In effetti il gradiente

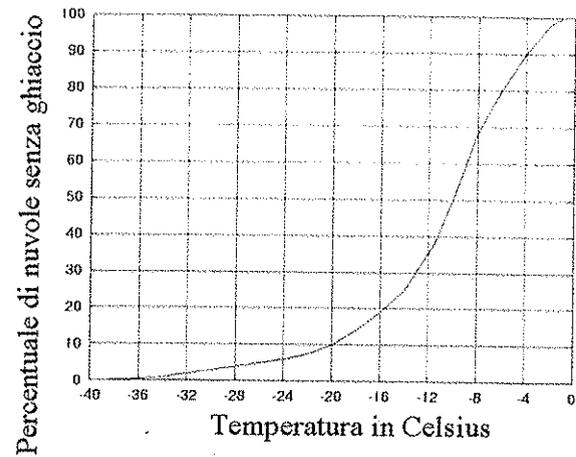


Fig. 2.1) Frequenza dei cristalli di ghiaccio

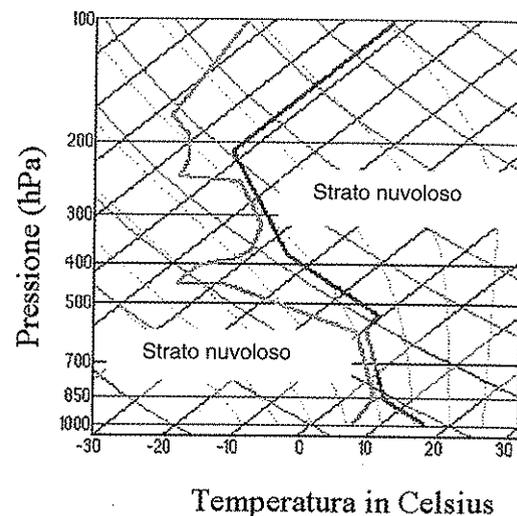


Fig. 2.2) Diagramma 'Skew-T'

termico dell'aria in sollevamento può essere diverso da quello dell'aria in quiete in quanto, nella colonna d'aria in sollevamento, l'aria può diventare satura dando così il via al fenomeno della condensazione. In tali circostanze il gradiente termico dell'aria in sollevamento ($-0,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ valore del gradiente adiabatico verticale per aria satura) è inferiore a quello dell'aria in quiete circostante ($-1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ valore del gradiente adiabatico verticale per aria secca), rendendo così la colonna d'aria in movimento, instabile. Infatti in queste condizioni l'aria in sollevamento sarà sempre più calda, e quindi più leggera, dell'aria ambiente e conseguentemente continuerà a salire. Un ambiente instabile è in genere caratterizzato da nuvole con una considerevole estensione verticale che possono essere associate a turbolenza e ad altri fenomeni intensi (i.e. temporali). Invece, una massa d'aria stabile (gradiente di temperatura dell'aria ambiente minore di quello dell'aria in salita) generalmente dà origine a bel tempo o a nuvole la cui estensione orizzontale è di gran lunga maggiore dell'estensione verticale; se le nuvole sono sufficientemente estese però anche una massa d'aria stabile può produrre precipitazioni continue e moderate.

Il sollevamento dell'aria può essere puramente convettivo, ossia locale ed associato a masse d'aria limitate (come accade nei temporali estivi) o esteso e quindi legato all'incontro di uno o più fronti. Nel primo caso il ghiaccio è associato all'instabilità convettiva, e quindi a fenomeni meteorologici molto violenti (turbolenza severa, 'wind-shear', etc.), mentre nel secondo caso le nubi convettive generalmente risultano essere meno sviluppate. Nonostante ciò, il sollevamento d'aria su larga scala può comunque generare formazioni nuvolose molto estese ed imponenti e, perciò, favorevoli alla formazione di ghiaccio. Inoltre, sollevamenti d'aria puramente convettivi possono essere immersi in formazioni nuvolose ben più estese e dovute ad innalzamenti di masse d'aria su larga scala: tali circostanze possono provocare temporali ben sviluppati e che perciò danno vita a fenomeni comunque pericolosi per il volo (ghiaccio e turbolenza).

Uno degli strumenti più usati dai meteorologi per individuare uno strato nuvoloso è il diagramma della 'temperatura-obliqua' o 'skew-T diagram' (Fig. 2.2). Un diagramma 'skew-T' riporta l'andamento della temperatura (linea scura) e quello del punto di rugiada (linea chiara), rilevati dalle radio sonde, in funzione dell'altitudine. Gli intervalli nei quali la temperatura e la temperatura di rugiada sono vicine (differenze dell'ordine di 2°C , 4°C) indicano la presenza di un probabile strato di nuvole.

2.1.2) Formazione

I modi più comuni per la formazione delle nuvole sono: la salita orografica, l'attività frontale e le condizioni meteorologiche che caratterizzano la formazione dei cicloni.

Salita orografica

L'azione del vento, su terreni in salita, è una delle cause dei moti convettivi dell'aria. Mentre l'aria sale si raffredda, diventa satura, e perciò è in grado di provocare la formazione delle nuvole. Una catena montuosa, però, può anche avere un effetto di 'bloccaggio': in effetti, se sulla cima delle montagne è presente un'inversione termica, tale fenomeno è in grado di deviare o ridurre l'intensità del vento e, tale effetto, può generare estese aree cariche di nuvole e precipitazioni favorevoli alla formazione del ghiaccio.

Fronti

I fronti sono generati dall'interferenza tra aria fredda e calda. I fronti sono aree favorevoli alla formazione del ghiaccio a causa della presenza di ingenti moti convettivi di vaste masse d'aria umida.

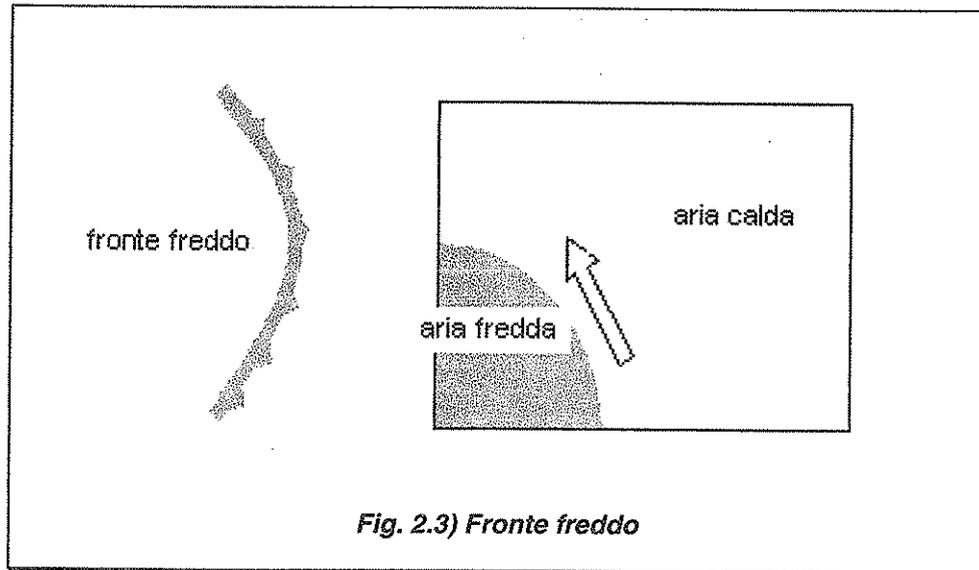


Fig. 2.3) Fronte freddo

Un fronte freddo (Fig. 2.3), normalmente rappresentato da una linea con simboli triangolari che indicano la direzione di avanzamento del fronte, è causato da aria fredda che avanza verso una massa di aria più calda. A causa del movimento dell'aria fredda, l'aria calda è sollevata sull'aria fredda causando la formazione di nuvole nell'area del fronte. Quindi, il volo in una direzione perpendicolare al fronte sarà meno pericoloso, per quanto concerne la formazione del ghiaccio, del volo parallelo al fronte stesso.

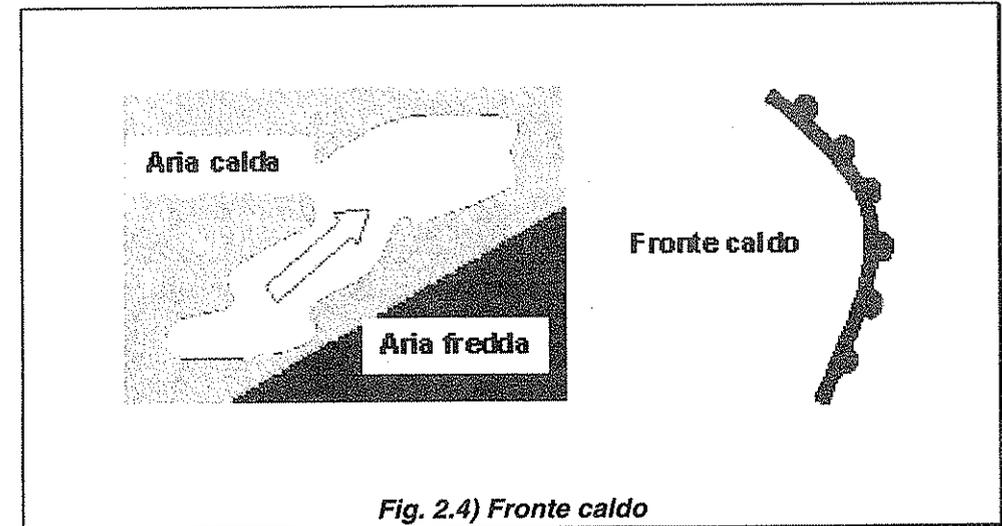
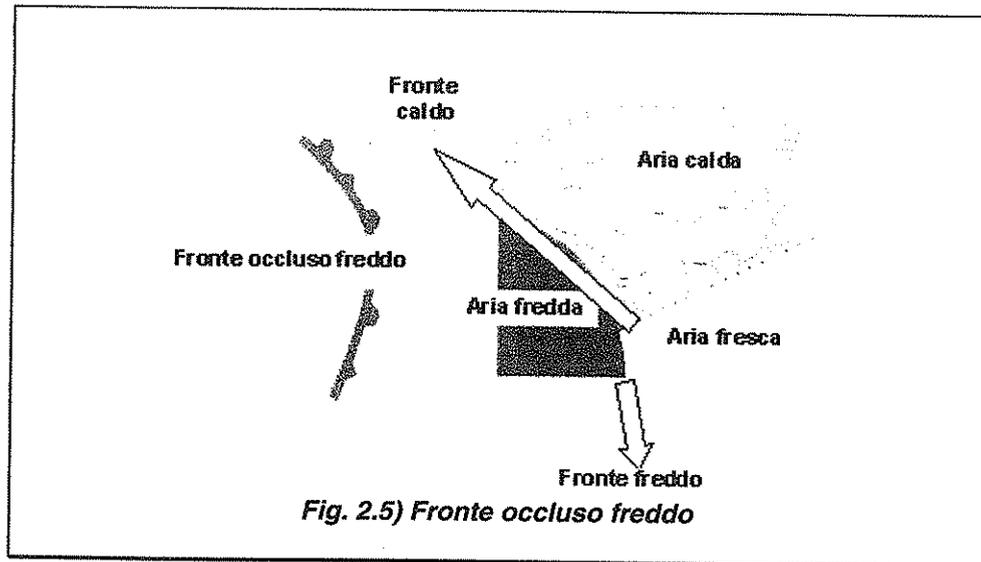


Fig. 2.4) Fronte caldo

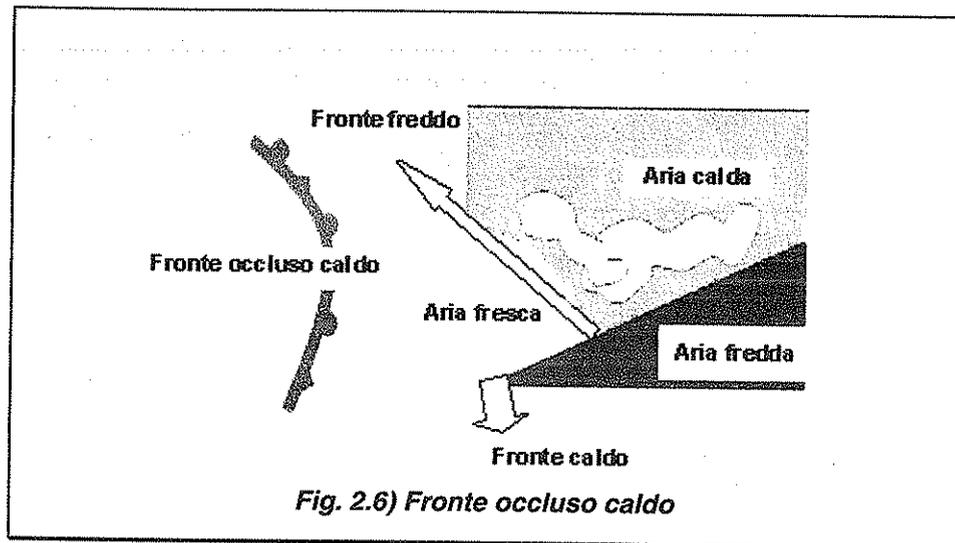
In un fronte caldo (Fig. 2.4), normalmente rappresentato da una linea con semicerchi rivolti verso la direzione di avanzamento del fronte, l'aria calda sovrasta l'aria fredda lungo una regione molto estesa. In queste condizioni, sia il volo perpendicolare che parallelo al fronte possono rappresentare un pericolo significativo per quanto riguarda la formazione del ghiaccio. Per evitare la formazione di quest'ultimo si raccomanda di volare sopra o sotto lo strato di nuvole, o al di sotto della quota alla quale la temperatura dell'aria è superiore a 5° C circa. Si ricorda inoltre, che la quota a cui la temperatura dell'aria è pari a 0° C è comunemente indicata come il livello di volo in cui si registra lo 'zero termico'.

Nel processo di occlusione, un fronte freddo si sovrappone ad un fronte caldo formando un fronte occluso che combina gli aspetti del fronte caldo e del fronte freddo.

In un fronte occluso freddo (Fig. 2.5), l'aria fredda che precede il fronte caldo è meno fredda dell'aria fredda che segue il fronte freddo: in questo caso il fronte freddo rimane a contatto con la superficie del terreno.

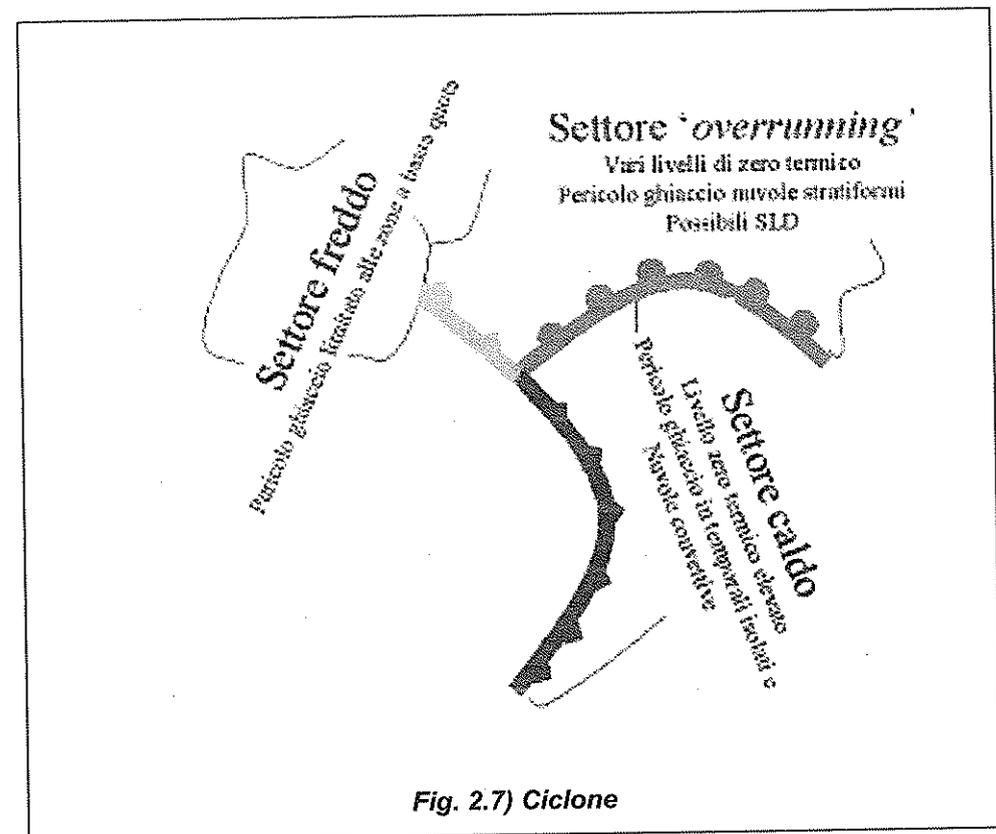


In un fronte occluso caldo, invece (Fig. 2.6), il fronte caldo rimane sulla superficie del terreno perché l'aria fredda che precede il fronte caldo è più fredda dell'aria fredda che segue il fronte freddo: in questo caso il fronte freddo si muove sopra il fronte caldo.



I fronti occlusi, sia caldo che freddo, sono associati ad estese zone di nuvole, rovesci e temporali. Quindi rappresentano un pericolo significativo per il volo, sia in direzione perpendicolare che parallela al fronte.

Cicloni



La circolazione atmosferica caratteristica dei cicloni (Fig. 2.7) genera convergenza di masse d'aria vicino al centro di un sistema di bassa pressione, causando così movimenti convettivi e formazione di nuvole. Tali fenomeni sono caratterizzati sia da fronti freddi che da fronti caldi e sono così estesi, nel tempo e nello spazio, da rappresentare un serio pericolo per tutte le operazioni di volo.

Tre aree possono essere identificate in un ciclone:

- I. il settore caldo,
- II. il settore 'overrunning',
- III. il settore freddo

I.) Settore caldo

Il settore caldo è usualmente dietro al fronte caldo ed avanti al fronte freddo. Esso è caratterizzato principalmente da aria umida ed instabile con uno 'zero termico' posizionato a livelli elevati. Questo è il motivo per il quale in queste zone, generalmente, il problema ghiaccio può presentarsi a quote abbastanza alte. Tuttavia in un settore caldo, oltre a nuvole stratiformi associate a precipitazioni sostenute, possono anche trovarsi significative nubi convettive e temporali isolati in grado di dar vita, a qualsiasi livello, a formazioni di ghiaccio tutt'altro che trascurabili.

II.) Settore 'Overrunning'

Questo settore è usualmente avanti al settore caldo. Poiché è caratterizzato da aria calda su di uno strato di aria fredda più basso, è possibile constatare un'inversione termica che può essere associata a vari livelli di 'zero termico'. Quindi, i cristalli di ghiaccio presenti nelle nuvole potrebbero fondere e, se le temperature - in prossimità del suolo - dovessero essere $< 0^{\circ}\text{C}$, sarebbero in grado di formare persino della pioggia congelantesi; inoltre l'aria è stabile ed i fenomeni di formazione del ghiaccio possono verificarsi anche in nubi stratiformi. Infine, l'inversione termica può altresì causare la formazione di SLD ossia di gocce d'acqua sopraffusa di grandi dimensioni.

III.) Il settore freddo

E' caratterizzato da masse d'aria fredda al di sotto di aria più calda: il pericolo di formazione di ghiaccio è confinato alle basse quote.

2.1.3) Classificazione ed abbreviazioni

Esistono varie classificazioni degli addensamenti nuvolosi: una delle possibili, che ha come criterio la quota della base delle nubi - pur distinguendo le nubi a sviluppo verticale - è la seguente:

Nuvole basse:

- **St = Strati:** sono nubi, con base molto bassa, associate a deboli precipitazioni, pioggia e/o neve.
- **Sc = Stratocumuli:** sono nubi basse con la cima arrotondata.

Nuvole medie:

- **As = Altostrati:** sono nubi opache o semitrasparenti.
- **Ns = Nembostrati:** sono nubi grigio-scure che possono produrre pioggia e neve continua.
- **AC = Altocumuli:** sono nuvole simili a batuffoli con la parte superiore arrotondata e leggermente sporgente.

Nuvole alte:

- **Ci = Cirri:** sono nubi biancastre, nastriformi, formate da filamenti ed uncini.
- **Cs = Cirrostrati:** sono nubi composte da esilissimi cristalli di ghiaccio che danno origine a dei 'veli' biancastri.
- **Cc = Cirrocumuli:** sono nubi simili a piccoli fiocchi bianchi.

Nubi a sviluppo verticale:

- **Cb = Cumulonembi:** sono nubi che hanno una grande estensione verticale; si possono estendere da 100 m fino alla tropopausa; spesso, soprattutto nei pomeriggi estivi e primaverili, sono associate a rovesci, grandine e fulmini.
- **Cu = Cumuli:** sono nuvole con base piatta e cima arrotondata.

2.1.4) Le nubi ed il ghiaccio

Sulla base delle considerazioni svolte nei precedenti paragrafi, possiamo affermare che, per un velivolo, le condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio sono presenti a temperature comprese tra $+5^{\circ}\text{C}$ e -40°C . In effetti in un ambiente instabile, come in quello caratteristico delle nubi cumuliformi, le intense correnti verticali possono spingere le particelle d'acqua sopraffusa a quote molto elevate e quindi a temperature molto basse: in tali casi è possibile trovare gocce d'acqua sopraffusa anche a -40°C ; al contrario, se le correnti ascensionali sono deboli, la presenza di gocce sopraffuse è limitata a temperature al di sopra di $-15^{\circ}\text{C}/-20^{\circ}\text{C}$.

Nuvole a temperature più alte di -15°C sono molto probabilmente nuvole con prevalenza d'acqua, nuvole a temperature comprese tra -15°C e -40°C sono nuvole miste, mentre nuvole a temperature più basse di -40°C sono molto probabilmente formate da cristalli di ghiaccio e quindi non rappresentano un pericolo per i velivoli. Va puntualizzato che tali indicazioni sono molto generali, in quanto, occorre sempre tener presente che sono numerosi i fattori che influenzano la composizione di una nuvola. Ad esempio, dopo un certo tempo, una nuvola di tipo misto tende a diventare una nuvola di cristalli di ghiaccio. Questo perché il vapore acqueo tende ad essere raccolto molto più facilmente dai cristalli di ghiaccio che dalle gocce d'acqua, inoltre le gocce d'acqua che urtano i cristalli di ghiaccio tendono a solidificare e ad essere inglobate nei cristalli con cui sono venute a contatto.

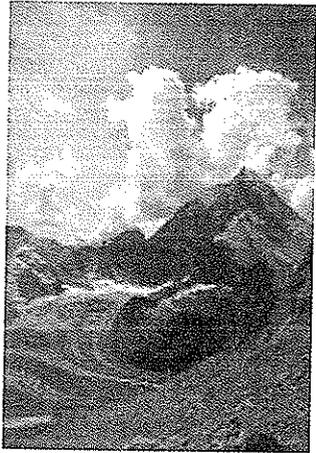


Fig. 2.8) Cumulo 'congestus'



Fig. 2.9) Cumulonembo 'calvus'

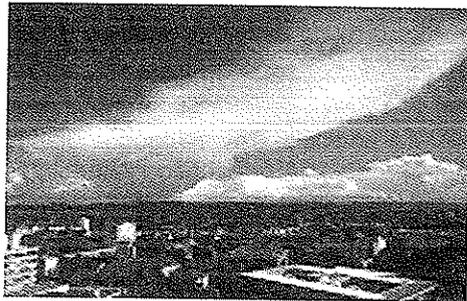


Fig. 2.10) Cumulonembo 'capillatus incus'

Le figure 2.8, 2.9 e 2.10 mostrano alcuni esempi tipici di nuvole miste.

Infine, per concludere questo paragrafo, appare opportuno riportare di seguito una tabella, molto sintetica, che mette in relazione le nubi ed il ghiaccio normalmente a queste associato (Tab. 2.1).

Tab. 2.1) Le nubi ed il ghiaccio normalmente a queste associato

TIPO DI NUVOLA	GHIACCIO ASSOCIATO
Cumulonembo 'calvus'	Possibilità di consistenti formazioni di ghiaccio di tipo vitreo.
Cumulonembo 'capillatus'	Possibilità di consistenti formazioni di ghiaccio, anche di tipo vitreo.
Cumulo 'congestus'	Possibilità di formazioni di ghiaccio di sensibile spessore.
Strati	Possibilità di leggere formazioni di ghiaccio.
Stratocumuli	Possibilità di moderate formazioni di ghiaccio.
Altostrato 'traslucidus'	Possibilità di leggere formazioni di ghiaccio.
Altostrato 'opacus'	Possibilità di rilevanti formazioni di ghiaccio.
Altocumuli	Possibilità di leggere formazioni di ghiaccio.
Nembostrati	Possibilità di formazioni di ghiaccio di tipo vitreo.

2.2) Formazione delle precipitazioni

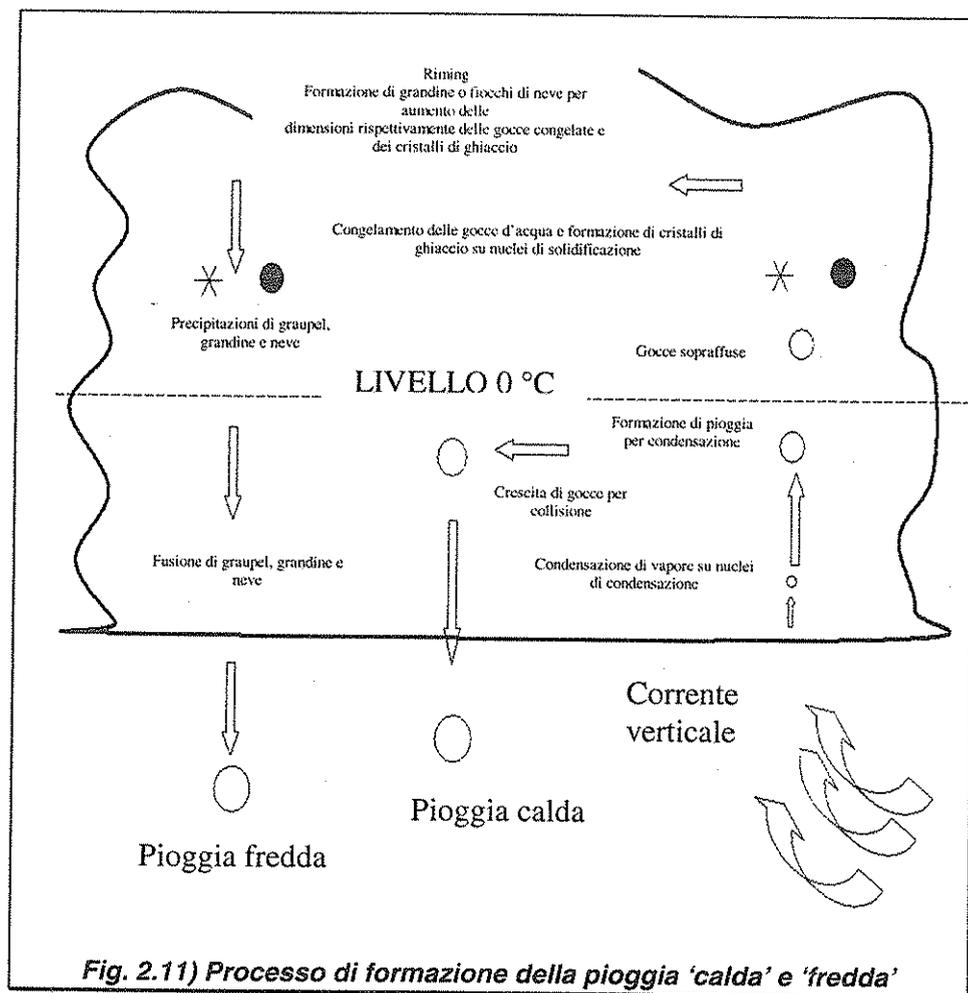


Fig. 2.11) Processo di formazione della pioggia 'calda' e 'fredda'

Esistono due processi principali per la formazione della pioggia (Fig. 2.11): la pioggia cosiddetta 'calda' e quella cosiddetta 'fredda'. Entrambi i fenomeni sono originati dalla presenza di correnti ascendenti: infatti l'aria calda, salendo in un ambiente freddo, tende a diventare satura e, in virtù del fenomeno della condensazione, forma delle gocce attorno a piccoli nuclei di condensazione (CCN). Una volta che le gocce si sono formate, tendono ad ingrandirsi attraverso la collisione e la coalescenza con altre gocce, e quindi, o a cadere formando direttamente la 'pioggia calda', od a risalire oltre il livello di congelamento.

Una volta in aria a temperatura $< 0^{\circ} \text{C}$, le gocce d'acqua ed il vapore possono congelare sui nuclei di solidificazione, formando dei 'graupel' e dei cristalli di ghiaccio. I 'graupel' ed i cristalli di ghiaccio possono aumentare le loro dimensioni attraverso la collisione con altre gocce d'acqua, dando così origine alla grandine od ai fiocchi di neve: tale fenomeno è detto 'riming'. Successivamente tali formazioni, cadendo, se attraversano strati d'aria adeguatamente più caldi, possono fondersi, dando così vita al processo della 'pioggia fredda'.

Per quanto concerne la pericolosità di tali fenomeni in relazione al volo, è importante sottolineare che l'area appena al di sopra del livello di congelamento è quella in cui più facilmente possono trovarsi le condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio; invece l'area in cui avviene il fenomeno della fusione del ghiaccio, implica la presenza di aria a temperatura $> 0^{\circ} \text{C}$ e perciò, potenzialmente, meno critica per i velivoli. Va altresì ricordato che anche l'acqua ottenuta dalla fusione dei cristalli di ghiaccio può divenire pericolosa se, successivamente, attraversa zone che, anche se a quote più basse, sono a temperature più fredde (fenomeno dell'inversione termica).

2.3) Strumenti principali per l'analisi meteorologica

Senza dubbio, l'analisi meteorologica è una delle fasi più importanti della preparazione di ogni volo. Il briefing meteorologico è un'operazione che ogni pilota dovrebbe effettuare prima di recarsi a bordo e che potrebbe rivelarsi fondamentale per fronteggiare efficacemente aree perturbate in cui sono previste condizioni favorevoli alla formazione del ghiaccio. Alcuni tra i principali strumenti, grazie ai quali gli equipaggi possono effettuare un'efficace analisi meteorologica, sono i seguenti:

- **'Taf', 'Metar', 'Speci' e 'Trend'**. L'equipaggio dovrebbe raccogliere queste informazioni per tutti gli aeroporti d'interesse, inclusi quelli lungo ed in prossimità della rotta prevista. Questi dati potrebbero rivelarsi fondamentali soprattutto nei casi in cui risulti più sicuro ripianificare il volo lungo una differente rotta;
- **'Airmets' e 'Sigmet'**. Questi messaggi possono informare l'equipaggio della presenza di ghiaccio moderato e/o severo;
- **'PIREP' disponibili**. Questi rapporti contengono informazioni molto importanti: è fondamentale infatti essere a conoscenza delle condizioni meteorologiche che i piloti, che ci hanno preceduto, hanno incontrato lungo la nostra stessa rotta;

- Le carte meteorologiche del tempo significativo. Questo è uno strumento utile per aiutare l'equipaggio ad individuare aree fortemente perturbate o zone in cui sono previste condizioni favorevoli alla formazione del ghiaccio;
- 'Snotams' e messaggi concernenti lo stato di contaminazione della pista. Queste informazioni completano il quadro meteorologico ed aiutano a sviluppare pianificazioni alternative;
- Il radar meteorologico. Consente di visualizzare la posizione e l'estensione delle precipitazioni più cospicue ed aiuta l'equipaggio ad individuare la rotta più opportuna.

Di seguito si passerà ad analizzare più in dettaglio i precedenti punti.

2.3.1) 'TAF/METAR/SPECI/TREND'

I **'TAF'** sono messaggi codificati riguardanti le previsioni meteorologiche sugli aeroporti.

I **'METAR'** sono messaggi codificati riguardanti le osservazioni meteorologiche di routine sugli aeroporti ad un determinato orario. Normalmente sono emessi ogni 30 o 60 minuti.

Gli **'SPECI'** sono messaggi codificati riguardanti le osservazioni meteorologiche speciali trasmesse, di solito, dalle stazioni meteo che effettuano osservazioni orarie. Sono emessi se:

- Le condizioni meteorologiche sono peggiori rispetto a quelle riportate nell'ultimo **'METAR'**.
- Le condizioni meteorologiche sono migliori rispetto a quelle riportate nell'ultimo **'METAR'** ed il miglioramento perdura da almeno 10 minuti.

La tabella 2.2 presenta un esempio di **'TAF'** e uno di **'METAR'**, mentre la tabella 2.3 riporta la decodifica dei suddetti messaggi. Questi due messaggi sono stati mostrati solo a titolo di esempio, perciò si raccomanda di fare riferimento alle pubblicazioni specifiche per l'interpretazione completa di tutte le sigle che possono comparire nei **'TAF/METAR/SPECI/TREND'**.

Tab. 2.2) Esempi di TAF e METAR	
TAF previsioni meteorologiche sugli aeroporti (esempio)	
TAF KPIT 091730Z 091818 15005KT 5SM HZ FEW020 / FM1930 30015G25KT 3SM SHRA OVC015 TEMPO 2022 1/2SM +TSRA OVC008CB / FM0100 27008KT 5SM SHRA BKN020 OVC040 PROB40 0407 1SM -RA BR / FM1015 18005KT 6SM -SHRA OVC020 BECMG 1315 P6SM NSW SKC	
METAR osservazioni meteorologiche sugli aeroporti (esempio)	
METAR KPIT 091955Z COR 22015G25KT 3/4SM R28L/2600FT TSRA OVC010CB 18/16 A2992 RMK SLP045 T01820159	

Tab. 2.3) Decodifica di TAF e METAR		
Previsione	Decodifica	Osservaz.
TAF	Tipo di messaggio: TAF , METAR o SPECI ; Solo per TAF : FC = validità breve (9 ore); FT = lunga validità (18 o 24 ore).	METAR
	Solo per METAR/SPECI : AMD o AAA = emendamento; RTD o RRA = in ritardo; COR o CCA = correzione; AUTO = osservazioni completamente rilevate 'automaticamente'.	COR
KPIT	Indicatore località standard ICAO.	KPIT
091730z	Data/ora di emissione. Tutti gli orari sono in UTC seguiti da "z" e preceduti dal giorno del mese: 2-cifre per la data, 4-cifre per l'ora.	091955z
091818	Data/ora di validità: 2-cifre per la data, 2-cifre ora d'inizio, 2-cifre ora di fine.	
15005KT	TAF = Direzione/intensità del vento. Le prime 3 cifre indicano la direzione media di provenienza rispetto al Nord vero, le rimanenti cifre l'intensità prevista ed l'unità di misura utilizzata (KT, KMH o MPS). METAR = Direzione/intensità del vento. Le prime 3 cifre indicano la direzione di provenienza rispetto al Nord vero, con l'approssimazione di 10 gradi (o Variable per variabile); le seguenti cifre indicano le velocità medie registrate nei dieci minuti che precedono l'orario d'osservazione e l'unità di misura utilizzata: KT (KMH o MPS); se richiesto raffiche e velocità massima vengono segnalate con il gruppo G_fm_fm ; mentre 'calma di vento' viene cifrata con 00000 seguito da una delle abbreviazioni KT, KMH o MPS.	22015G25KT

5SM	Visibilità prevalente: in Statute Miles e frazioni oppure KM o M . Nei METAR indica il valore di visibilità minore osservata o misurata nelle varie direzioni, nell'ambito aeroportuale; nei TAF indica il valore di visibilità minimo previsto.	3/4SM
	Runway Visual Range (RVR) di 2600 piedi sulla pista 28 Sinistra ; L'indicatore R seguito dall'indicatore di pista (2-cifre) precede sempre i riporti di RVR. Le piste parallele poi si identificano accordando all'indicatore di pista le lettere L , C o R per indicare rispettivamente la pista sinistra, centrale o destra; le cifre indicate successivamente all'indicatore di pista riportano i valori di RVR, in FT o M, della zona di 'touchdown' della pista interessata.	R28L/2600FT
HZ	METAR : vengono riportati tutti i fenomeni, significativi per le operazioni di volo, presenti ed osservati sull'aeroporto o nelle vicinanze (vedere tavola 2.4). TAF : vengono riportate le previsioni dei fenomeni significativi (vedere tavola 2.4).	TSRA
FEW020	Quantità ed altezza delle nuvole: inoltre è obbligatorio riportare, se presenti, anche le nubi convettive significative (CB e TCU). La quantità di ogni strato di nubi è riportato secondo le seguenti abbreviazioni: FEW da 1/8 a 2/8, SCT da 3/8 a 4/8, BRK da 5/8 a 7/8, OVC = 8/8; segue poi l'altezza delle nubi riportata in centinaia di piedi.	OVC010CB
	Temperatura dell'aria (prime 2 cifre) e punto di rugiada (ultime 2 cifre) arrotondate al grado intero più vicino; sono espresse in gradi Celsius e sono precedute dalla lettera M per riportare temperature negative.	18/16
	Valore del QNH osservato ed arrotondato, per difetto, al più vicino valore intero; Se le 4 cifre sono precedute dalla lettera "Q" la pressione è riportata in hectopascal; se invece sono precedute dalla lettera "A" la pressione è riportata in pollici di mercurio;	A2992
	Nel METAR , ReMark indicatore di note aggiuntive solo in ambito nazionale. Per esempio: Sea-Level Pressure in hectopascal e decimi, nell'esempio: 1004.5 hPa; Temp/temperatura di rugiada in decimi di °C, nell'esempio: temp: 18.2 °C, temperatura di rugiada 15.9 °C	SLP045T0182 0159

FM1930	L'indicatore From (FM) identifica l'orario (in ore e minuti) da cui è previsto l'inizio della variazione.	
TEMPO 2022	L'indicatore TEMPORary (TEMPO) viene utilizzato per indicare che tra le ore GG (prime due cifre) e le ore G _E G _E (seconde due cifre) si verificheranno delle variazioni temporanee, più o meno frequenti, delle condizioni meteorologiche previste. Tali variazioni possono avere la durata massima di un'ora ed in totale interesseranno meno della metà del periodo indicato.	
PROB40 0407	L'indicatore PROBability (PROB) - seguito solo dai valori 30 e 40 (%) - viene utilizzato per indicare la probabilità che, tra le ore GG (prime due cifre) e le ore G _E G _E (seconde due cifre), qualche elemento della previsione TAF presenti un valore alternativo rispetto a quelli previsti.	
BECMG 1315	L'indicatore BECOMing (BECMG) viene utilizzato per indicare che tra le ore GG (prime due cifre) e le ore G _E G _E (seconde due cifre) si verificherà un cambiamento delle condizioni meteorologiche rispetto a quelle previste nella sezione iniziale del TAF . Tale cambiamento può verificarsi in maniera regolare od irregolare nel periodo compreso tra le ore indicate; tale periodo non eccede normalmente le due ore ed in ogni caso non supera mai un periodo di quattro ore.	

Al termine di un '**METAR**' o in uno '**SPECI**' è possibile trovare anche una sezione supplementare denominata '**TREND**'. Tale sezione fornisce delle indicazioni aggiuntive in merito all'evoluzione delle condizioni meteorologiche. La previsione ha validità di due ore a partire dal tempo di emissione del '**METAR**' o '**SPECI**' associato e contiene le variazioni significative previste del vento, della visibilità, dei fenomeni del tempo e delle nubi; naturalmente vengono inseriti solo quegli elementi meteorologici per i quali sono attesi dei cambiamenti. Anche per l'interpretazione dei '**TREND**' riferirsi alla normativa specifica.

Infine, nella tabella 2.4, è stato ritenuto opportuno, per completezza, riportare una lista di alcune delle sigle maggiormente usate nei messaggi meteorologici.

Tab. 2.4) Sigle e decodifica	
NSW	Indica la previsione di cessazione dei fenomeni meteorologici significativi;
VC	Viene usato per indicare fenomeni significativi (FG, FC, SH, PO, BLDU, BLSA, BLSN, DS, SS, TS) osservati in prossimità dell'aeroporto;
Descrittore	MI=Sottile; BC=Banchi di nebbia; TS=Temporale; PR=Parzialmente; BL=Scaccianeve alto; SH=Rovescio; DR=Scaccianeve basso; FZ=Congelantesi;
Precipitaz.	DZ=Pioviggiine; IC=Cristalli di ghiaccio; SN=Neve; GR=Grandine; SG=Nevischio; PE=Granuli di ghiaccio; RA=Pioggia; GS=Grandine piccola e/o granuli di neve; UP= Precipitazione sconosciuta (riportata solo da una stazione di rilevamento automatica); PY= Spruzzi di mare;
Oscuraz.	BR=Foschia; FG=Nebbia; FU=Fumo; VA=Cenere vulcanica; SA=Sabbia; HZ=Caligine; DU=Polvere estesa;
Altri fenomeni	SQ=Groppo; SS=Tempesta di sabbia; DS=Tempesta di polvere; PO = Mulinelli di sabbia/polvere; FC = Tromba marina/d'aria o tornado;
CAVOK	Ceiling And Visibility OK. Tale acronimo sostituisce visibilità, fenomeni e nuvole se: <ul style="list-style-type: none"> • visibilità ≥ 10 km; • assenza di fenomeni significativi; • assenza di nuvole al di sotto dei 5000 ft (1500 m) o al di sotto dell'altitudine minima di settore se più alta di 5000 ft ed assenza di CB.

2.3.2) Airmets e sigmets

AIRMET

Gli avvisi 'AIRMET' danno una concisa descrizione (in linguaggio chiaro abbreviato con termini approvati dall'ICAO e valori numerici di immediata interpretazione) del verificarsi o del previsto verificarsi di specificati fenomeni meteorologici in rotta, che potrebbero influenzare la sicurezza delle operazioni nei bassi livelli di volo (inferiori a FL100 o FL150 su zone montagnose), nonché dell'evoluzione di questi fenomeni nel tempo e nello spazio. Gli 'AIRMET' sono emessi, preferibilmente, non più di quattro ore prima dell'orario di validità, non dovrebbero superare le sei ore di previsione e coprono i seguenti fenomeni:

- velocità del vento al suolo su un'area estesa oltre 30 nodi;
- estese aree con visibilità al suolo inferiore ai 5000 metri;

- temporali isolati con e senza grandine e/o temporali occasionali con e senza grandine;
- oscuramento delle montagne;
- estese aree con cielo molto nuvoloso (BKN) o coperto (OVC) e altezza della base delle nubi sotto i 1000 ft;
- cumulonembi o/e cumuli torreggianti occasionali, isolati, frequenti;
- formazioni di ghiaccio moderato;
- turbolenza moderata fuori da nubi convettive;
- onde orografiche moderate.

SIGMET

Gli avvisi 'SIGMET' sono messaggi a carattere internazionale e danno una concisa descrizione (in linguaggio chiaro abbreviato con termini approvati dall'ICAO e valori numerici di immediata interpretazione) del verificarsi o del previsto verificarsi di specificati fenomeni meteorologici in rotta, che potrebbero influenzare la sicurezza delle operazioni di volo, nonché dell'evoluzione di questi fenomeni nel tempo e nello spazio. Tali messaggi sono emessi, preferibilmente, non più di quattro ore prima dell'orario di validità, non dovrebbero superare le sei ore di previsione e coprono i seguenti fenomeni (vedi tabella 2.5):

Tab. 2.5) SIGMET	
Ai livelli di crociera subsonica	A livelli di accelerazione transonica e ai livelli di crociera supersonica
Area temporalesca attiva (OBSC, EMBD, SQL, FRQ) - TS Ciclone tropicale - TC (+nome del ciclone) Area temporalesca con grandine forte - TS HVYGR Turbolenza forte - SEV TURB Formazioni di ghiaccio severo e ghiaccio severo dovuto a pioggia congelantesi -SEV ICE, SEV ICE (FZRA) Onde orografiche marcate - SEV MTW Tempeste forti di polvere o sabbia - HVY SS/DS Ceneri vulcaniche - VA (+nome del vulcano)	Turbolenza moderata o forte - MOD SEV TURB Formazioni di cumulonembi - (ISOL, OCNL, FRQ) CB Grandine - GR Ceneri vulcaniche - VA (+nome del vulcano)

2.3.3) I Pirep

Uno dei metodi più efficaci per determinare la posizione e l'intensità delle formazioni di ghiaccio è la decodifica dei rapporti dei piloti (*PIREP*). Gli elementi richiesti per la compilazione di un '*PIREP*' sono: tipo di messaggio, località, ora, livello di volo, tipo di velivolo e condizioni meteorologiche incontrate. Questo sistema, molto efficiente, è principalmente usato negli USA, mentre non è molto comune in Europa.

I '*PIREP*' sono catalogati come '*UA*' (normali) o '*UUA*' (urgenti). Tipicamente i '*PIREP*' concernenti il ghiaccio contengono la località, l'ora, la temperatura ed eventuali note aggiuntive.

I '*PIREP*' possono essere scambiati direttamente tra i piloti in volo per mantenere una costante informazione circa la posizione e l'entità dei fenomeni meteorologicamente rilevanti, ma possono anche essere distribuiti dal servizio meteorologico sia per aiutare a migliorare la qualità dei propri prodotti (carte SIGWX, etc.), che per permettere una più accurata pianificazione dei voli.

Nota: Attualmente sono in preparazione proposte di modifiche al formato dei '*PIREP*' elaborate da apposite commissioni sia negli U.S.A. che in Europa. In attesa che tali modifiche vengano approvate, la tabella 2.6 riporta la decodifica corrente di tali messaggi.

Si tengano presenti, inoltre, le seguenti note:

- Il tipo e la severità del ghiaccio si trovano generalmente dietro il codice '*IC*';
- il ghiaccio misto può essere riportato con la sigla '*mxe*' piuttosto che '*mx*';
- per informazioni più dettagliate in merito ai '*PIREP*' riferirsi alla normativa specifica.

Tab. 2.6) Decodifica dei PIREP

Campo	Codice	Unità	Esempi	Illustrazione esempio
Tipo	UA UUA		UA UUA	Normale. Urgente.
Località	OV	Miglia nautiche e gradi rispetto al nord magnetico da una stazione	/OV DEN 20 N /OV DEN 360020	20 nm a nord dell'aeroporto internazionale di Denver. (Uguale)
Ora	TM	UTC	/TM 1315	1315 UTC
Quota	FL	iedi per 100 MSL ('pressure altitude', valore basato sulla regolazione dell'altimetro a terra e corretto con le equazioni dell'altimetro).	/FL070 /FL100- 120 /FLUNKN /FLDURC /FLDURD	A 7000 ft MSL. Da 10000 a 12000 ft MSL. Livello di volo sconosciuto. Durante la salita. Durante la discesa.
Tipo di velivolo	TP	Codice	/TP BE02 /TP B727	Beechcraft 1900. Boeing 727.
Condizioni del cielo	SK	Normalmente l'entità della copertura, altitudine della base ed eventualmente della cima delle nubi	/SK OVC080 /SK BKN085 TOPS 220	Coperto a 8000 ft MSL. Molto nuvoloso a 8500ft, cime a 22000 ft.
Condizioni meteorologiche	WX	Visibilità e/o condizioni meteorologiche riportate secondo i simboli dei messaggi METAR	/WX FV05SM -RA	Visibilità di 5 miglia con pioggia debole.

Temperatura dell'aria	TA	°C. E' obbligatorio riportare tale campo in caso di formazione di ghiaccio.	/TA M20	-20 °C.
Velocità e direzione del vento	WV	Direzione di provenienza del vento in gradi ed intensità in nodi.	/WV 270022	22 kt da ovest.
Turbolenza	TB	Descrivere intensità e tipo. Includere anche il livello di volo se differente da quello indicato in precedenza.	/TB OCNL LGT- MOD BLW 090	Turbolenza occasionalment e da leggera a moderata sotto livello di volo 90.
Tipo di ghiaccio	IC	Vitreo, misto o granuloso.	/IC CLR /IC MXD /IC RIM	Vitreo. Misto. Granuloso.
Severità del ghiaccio	IC	Tracce, leggero, moderato, severo.	/IC TRC /IC LGT /IC MOD /IC SEV	Tracce. Leggero. Moderato. Severo.
Note	RM	Formato libero con abbreviazioni.	/RM DURGC /RM IMC 030-090 /RM ¼" IN 10 MIN /RM LOST ICE 035	Durante la salita. Condizioni meteo strumentali tra 3000 e 9000 ft. Accumulato ¼ di pollice di ghiaccio in 10 minuti. Uscito dalle condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio a 3500 ft.

2.3.4) Carte meteorologiche del tempo significativo

L'attuale normativa ICAO prevede anche l'emissione di "carte del tempo significativo" per evidenziare i fenomeni significativi in rotta validi per un determinato periodo di tempo. Tali carte possono essere alte, medie o basse (SWH, SWM, SWL), inoltre, solo in Europa, esistono anche carte meteorologiche medio-alte (SWM/H).

Sulle carte 'SWH' e 'SWM' le altezze sono indicate in livelli di volo e quando le altezze delle cime o delle basi dei fenomeni o degli addensamenti nuvolosi riportati sono al di fuori del blocco di quote a cui la carta si riferisce tali quote vengono sostituite con il simbolo 'xxx'.

Sulle carte 'SWL' invece le altezze sono espresse in piedi o metri e l'abbreviazione 'SFC' è usata per indicare i fenomeni che si sviluppano al livello del mare.

Infine, per concludere questo paragrafo, è stato ritenuto opportuno riportare di seguito, molto sinteticamente, le legenda e la simbologia usate nelle "carte del tempo significativo".

Legenda per le carte SWH e SWM (livello alto e medio):

L = centro di un sistema di bassa pressione;

H = centro di un sistema di alta pressione;

Linee ondulate rotondeggianti = demarcazione delle aree con condizioni meteorologiche significative;

Linee tratteggiate marcate = demarcazione delle zone di turbolenza in area chiara (CAT);

Linee marcate associate ad un livello di volo ed alla simbologia del vento = asse della corrente a getto con indicazione della quota (in livello di volo), della direzione e velocità del vento;

Linea tratteggiata = altezza del livello dello zero termico in livello di volo;

Livello di volo racchiuso in piccoli rettangoli

a) sulle carte 'SWH': altezza della tropopausa in punti determinanti;

b) sulle carte 'SWM': altezza del livello dello zero termico in punti determinanti;

Cifre sulle frecce = velocità di movimento dei sistemi frontali in nodi.

Legenda per le carte SWL (livello basso):

+ = posizione dei centri di pressione, valori in hectopascal;

L = centro di bassa pressione;

H = centro di alta pressione;

Linee ondulate rotondeggianti = demarcazione delle aree con condizioni meteorologiche significative;

Linea tratteggiata = altezza del livello dello zero termico in piedi o metri;

Cifre racchiuse in piccoli cerchi = temperature in gradi Celsius (precedute dal segno più o meno), riportate solo sulle carte valide per livelli di volo inferiori a FL185;

Cifre racchiuse in piccoli rettangoli = altitudine del livello dello zero termico in piedi o metri;

Cifre sulle frecce = velocità di movimento dei sistemi frontali in nodi.

Simbologia del vento

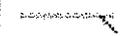
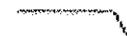
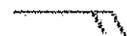
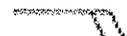
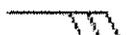
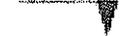
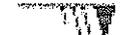
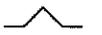
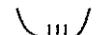
Il vento viene indicato tramite delle linee ('arrows') sormontate da triangoli e segmenti ('feathers'). Le 'arrows' indicano la direzione del vento, mentre le 'feathers' la velocità.

Abbreviazioni delle nubi

Per quanto concerne le abbreviazioni delle nubi riferirsi al paragrafo 2.1.3.

Per una comprensione delle carte del tempo significativo, è importante avere la conoscenza anche dei simboli riportati nella tabella 2.7:

Tab. 2.7) Principali simboli delle carte meteorologiche

COPERTURA DEL CIELO	VENTO	FRONTI	SIMBOLI
SKC: 0/8	 5 nodi	 fronte freddo	 pioggia
FEW: 1/8 - 2/8	 10 nodi	 fronte caldo	 rovescio
SCT: 3/8 - 4/8	 15 nodi	 fronte stazionario	 temporale
BKN: 5/8 - 7/8	 20 nodi		 pioviggine
OVC: 8/8	 25 nodi	 fronte occluso	 neve
	 50 nodi		 grandine
	 75 nodi		 pioggia congelantesi
	 100 nodi	TURBOLENZA	 nebbia
p.s. la linea indica la direzione da cui il vento proviene.		 turbolenza moderata	 caligine
		 turbolenza forte	 ghiaccio moderato
		CAT turbolenza in aria chiara	 ghiaccio severo

Infine, la figura 2.12 riporta un esempio di carta del tempo significativo medio-alta (SWM/H).

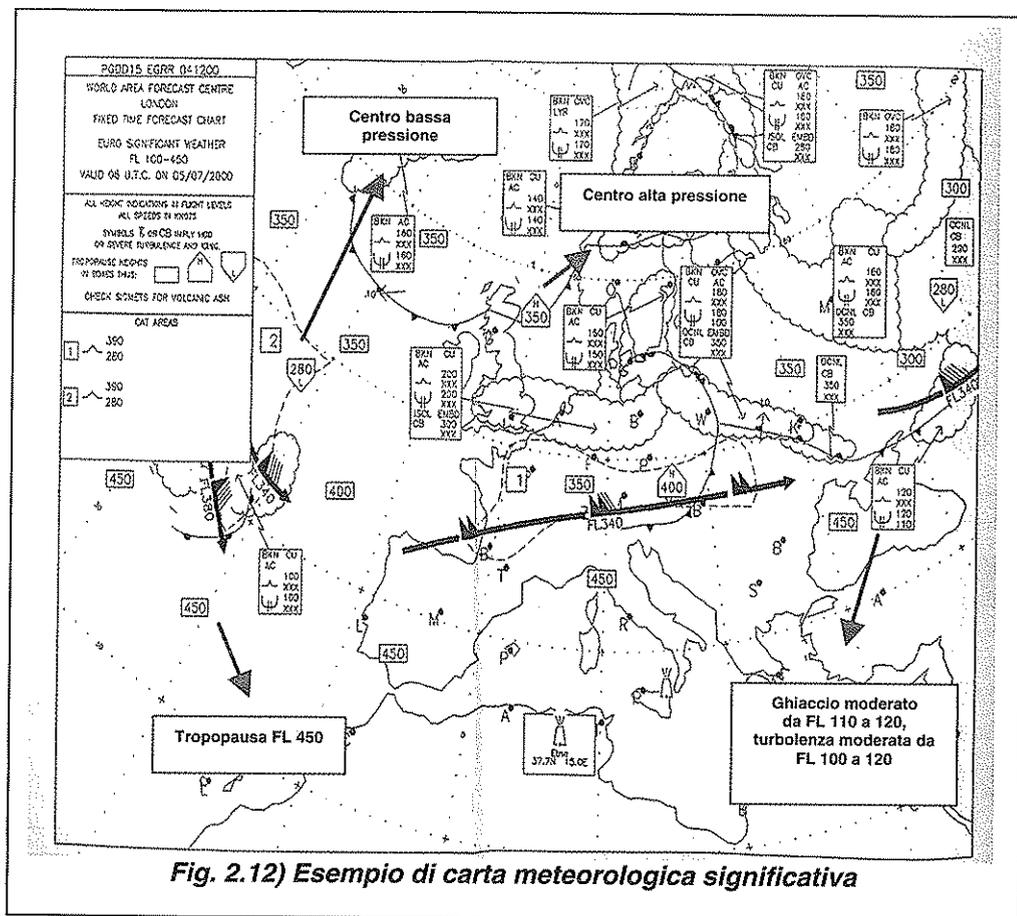


Fig. 2.12) Esempio di carta meteorologica significativa

2.3.5) Snotam

Si tratta, in estrema sintesi, di un NOTAM concernente lo stato di contaminazione per neve, acqua e/o ghiaccio dell'area di movimento di un determinato aeroporto. E' costituito da ben diciassette campi e si rimanda alla documentazione specifica per la decodifica di tale messaggio.

2.3.6) Stato di contaminazione della pista

Un altro modo per informare gli equipaggi circa lo stato di contaminazione per neve, acqua e/o ghiaccio della pista, e solo di tale

superficie, di un aeroporto è costituito da un codice ad otto cifre riportato in coda ai METAR. Le otto cifre vengono divise, come riportato successivamente, in cinque campi i quali forniscono informazione sui seguenti elementi:

AA	B	C	DD	EE
----	---	---	----	----

- 'AA' : identificativo della pista;
- 'B' : tipo di contaminazione;
- 'C' : estensione della contaminazione;
- 'DD' : spessore della contaminazione;
- 'EE' : azione frenante.

Come raccomandato già in precedenza, riferirsi alla documentazione specifica per l'interpretazione completa di questo codice.

2.3.7) Il radar meteorologico

Il radar meteorologico normalmente è usato per identificare temporali od aree di forte precipitazione e turbolenza. In realtà tale strumento è in grado di rilevare solo le aree in cui vi sia presenza d'acqua e/o di grandine bagnata; dato che quest'ultime sono associate ad addensamenti nuvolosi ed umidità, ne consegue che il radar meteorologico, se usato in combinazione con altre informazioni meteorologiche (i.e. la temperatura), può fornire utili indicazioni per l'identificazione di aree favorevoli alla formazione di ghiaccio.

Il funzionamento dei radar meteorologici è basato sul principio della *ridiffusione* ('back-scattering') dei segnali e le bande più usate sono presentate in tabella 2.8:

Banda	Frequenza (Mhz)	Lunghezza d'onda (cm)
S	1550-3900	19.3 - 7.7
C	3900-6200	7.7 - 4.8
X	6200-10900	4.8 - 2.7

La banda S è usata principalmente per i sistemi radar di terra, mentre le bande X e C sono usate per i sistemi imbarcati (si tenga presente che più alta è la frequenza e maggiore è l'attenuazione degli impulsi radar da parte delle nuvole).

E' importante sottolineare che un radar meteorologico può evidenziare esclusivamente particelle d'acqua o di grandine ricoperte d'acqua; al contrario la grandine asciutta o la neve risultano praticamente

'trasparenti' agli attuali radar meteorologici. In effetti, quando il campo elettrico polarizzato del fascio radar incontra una particella d'acqua, i dipoli molecolari presenti in tale liquido, liberi di muoversi, tendono ad allinearsi tutti nella stessa direzione del campo riflettendo la maggior parte dell'energia parallelamente all'asse del fascio incidente. Invece, i dipoli molecolari allo stato solido (grandine asciutta) non sono liberi di orientarsi e quindi la riflessione del fascio radar avviene casualmente in tutte le direzioni, diminuendo così, di gran lunga, la rilevabilità delle particelle di grandine (o neve) da parte di tale strumento.

Gli schermi radar possono essere analogici o digitali. Gli schermi analogici generano le immagini istante per istante, in sincronismo con il movimento di scansione dell'antenna e quindi del fascio radar. Quest'ultimo è identificabile, sullo schermo, dal movimento di una sottile traccia luminosa (pennello elettronico). La rappresentazione di un bersaglio sullo schermo inizia nell'istante in cui esso si trova allineato col pennello elettronico e la sua intensità è data dal grado di brillantezza dell'immagine; quest'ultima, a mano a mano che il pennello prosegue la scansione, tende ad affievolirsi fino a svanire e ricompare solo durante la scansione successiva.

Gli schermi radar digitali, invece, memorizzano i rilevamenti relativi a ciascun ciclo di scansione dell'antenna e presentano sullo schermo l'immagine corrispondente all'intero volume di spazio esplorato durante tale ciclo. Inoltre sullo schermo, contemporaneamente alla scansione, viene presentata la codifica, tramite l'uso di tre o quattro livelli cromatici, della quantità d'acqua rilevata: normalmente il verde rappresenta una bassa concentrazione d'acqua, mentre il rosso ne raffigura una alta.

Le nuove tecnologie, anche per i ricetrasmittitori radar, hanno consentito miglioramenti notevoli di tutte le prestazioni di tale strumento, inoltre l'introduzione di svariate funzioni addizionali, quali l'STC (*'Sensitivity Time Control'*), il REACT (*'Rain Echo Attenuation Compensation Technique'*), il PAC (*'Path Attenuation Correction'*) ed altre ancora, hanno permesso la presentazione di immagini meteorologiche decisamente intelligibili. Tuttavia, al fine di enucleare gli addensamenti nuvolosi e quindi le aree potenzialmente favorevoli alla formazione di ghiaccio, il pilota deve effettuare, nella maggior parte delle installazioni, la regolazione dell'inclinazione (*'TILT'*) dell'antenna radar, ancora manualmente: l'angolo deve essere scelto in modo da evidenziare i bersagli meteorologicamente significativi e, contemporaneamente, evitare ritorni dal terreno che potrebbero mascherare tali bersagli (*'ground clutter'*).

Ad esempio, durante la discesa, il *'TILT'* dovrebbe essere ruotato lentamente verso l'alto per evitare l'interferenza con il suolo, mentre, durante il decollo, il *'TILT'* dovrebbe essere inizialmente regolato verso

l'alto e quindi lentamente abbassato fino a raggiungere il valore richiesto durante la crociera. Una regola generale è quella di inclinare verso il basso il *'TILT'* del radar finché non compaiano i primi echi del suolo all'estremità superiore dello schermo e quindi rialzarlo leggermente. Questo per dirigere il fascio radar verso quella porzione di temporale che normalmente, a causa della temperatura più elevata, contiene un notevole quantitativo d'acqua e che perciò può essere più facilmente individuata dal radar. In ultima analisi, quando usato correttamente, un radar meteorologico può fornire informazioni accurate sulla posizione ed intensità delle precipitazioni e quindi anche indicazioni valide sulla migliore strategia da seguire per evitare aree potenzialmente favorevoli alla formazione di ghiaccio.

2.4) Indice di severità del ghiaccio

Gli elementi atmosferici che influenzano la formazione di ghiaccio sui velivoli sono essenzialmente: il contenuto d'acqua, la temperatura ed il diametro delle gocce.

Il contenuto d'acqua delle nuvole o *'Liquid Water Content'* (LWC) è la densità del liquido in una nuvola espresso in grammi per metro cubo d'acqua (g/m^3). Il LWC è importante per determinare quanta acqua è disponibile per l'eventuale formazione di ghiaccio. Anche se il LWC, tipicamente, varia tra 0.3 e 0.6 g/m^3 , in nuvole cumuliformi possono trovarsi valori fino a circa 3 g/m^3 .

La temperatura influenza sia la severità che il tipo di ghiaccio. Usualmente le formazioni di ghiaccio avvengono quando la temperatura dell'aria è compresa tra $+5^\circ\text{C}$ e -20°C , tuttavia è opportuno ricordare che accumuli di ghiaccio possono avvenire anche a temperature intorno ai -40°C . Sotto tale valore le formazioni di ghiaccio diventano alquanto improbabili, in quanto tutta l'acqua può congelare anche in assenza di nuclei di solidificazione.

Normalmente le gocce d'acqua contenute in una nuvola hanno diametri inferiori ai 50 micron, tuttavia, all'interno di particolari addensamenti nuvolosi, è possibile trovare gocce con diametri compresi tra i 50 ed i 500 micron. Queste gocce sono definite come 'gocce d'acqua soprassatura di grandi dimensioni' o *'Supercooled Large Droplets'* (SLD) e rappresentano un pericolo significativo per la navigazione, in quanto nessun velivolo è stato progettato per volare in sicurezza in queste condizioni. Il diametro delle gocce poi influenza la raccolta di ghiaccio sul velivolo: le gocce piccole tendono a colpire l'ala vicino al bordo d'attacco, mentre le gocce di grandi dimensioni tendono ad impattare nelle zone posteriori.

In estrema sintesi i valori delle variabili atmosferiche responsabili della formazione del ghiaccio sono riassunti nella tabella 2.9.

Tab. 2.9) Valori delle variabili atmosferiche responsabili della formazione del ghiaccio

VARIABILE	VALORE
'Liquid Water Content' (LWC)	da 0 a 3 g/m ³ .
Temperatura	da +5°C a -40 °C.
Diametro delle gocce (MVD)	Normalmente da 0 a 50 micron, ma anche fino a 500 micron.

Nelle tabelle successive sono stati riportati gli indici di severità del ghiaccio attualmente usati dai meteorologi e dai piloti. Si noti che le due tabelle sono alquanto differenti: in effetti i meteorologi utilizzano una classificazione 'fisica', mentre i piloti usano una classificazione basata sugli effetti del ghiaccio sul velivolo. Inoltre proprio in questi mesi sono stati proposti dei cambiamenti sostanziali agli indici di severità, per cui queste nuove proposte potrebbero a breve sostituire i formati correnti riportati nelle tabelle 2.10 e 2.11.

Tab. 2.10) Classificazione meteorologica

Categoria di ghiaccio	LWC g/m ³
Tracce	< 0.1
Leggero	0.11-0.6
Moderato	0.61-1.2
Severo	>1.2

Tab. 2.11) Classificazione dei piloti

Categoria di ghiaccio	
Tracce	Il ghiaccio diventa appena visibile. Il rateo di accumulazione è leggermente più grande del rateo di sublimazione. Le tracce di ghiaccio non sono pericolose anche senza l'uso dei sistemi di protezione dal ghiaccio a meno che queste condizioni non siano incontrate per periodi molto lunghi (oltre un'ora)
Leggero	Il rateo di accumulazione del ghiaccio può creare problemi in caso di esposizione prolungata in queste condizioni (oltre un'ora). L'uso occasionale dei sistemi di protezione può rimuovere o prevenire la formazione di ghiaccio.
Moderato	Il rateo di accumulazione del ghiaccio è tale che anche un incontro di breve durata può essere potenzialmente pericoloso. L'uso dei sistemi di protezione e/o l'effettuazione di una diversione di rotta sono necessari.
Severo	Il rateo di accumulazione è tale che i sistemi di protezione non sono in grado di ridurre od eliminare l'accumulo di ghiaccio. L'unica operazione possibile è effettuare una immediata diversione.

Inoltre si tenga presente che la classificazione riportata in tabella 2.11 dipende dal velivolo in questione: infatti mentre un B747, attraversando un addensamento nuvoloso, potrebbe riportare solo tracce di ghiaccio, un piccolo velivolo di aviazione generale potrebbe riscontrare addirittura l'accumulo di ghiaccio severo. Infine la tabella 2.12 riporta la simbologia usata sulle carte meteorologiche per definire la severità del ghiaccio. L'altitudine è riportata alla destra del simbolo in centinaia di piedi: il numero superiore indica la quota massima, mentre quello inferiore indica quella minima.

	180 100	Leggero
	180 100	Moderato
	180 100	Severo

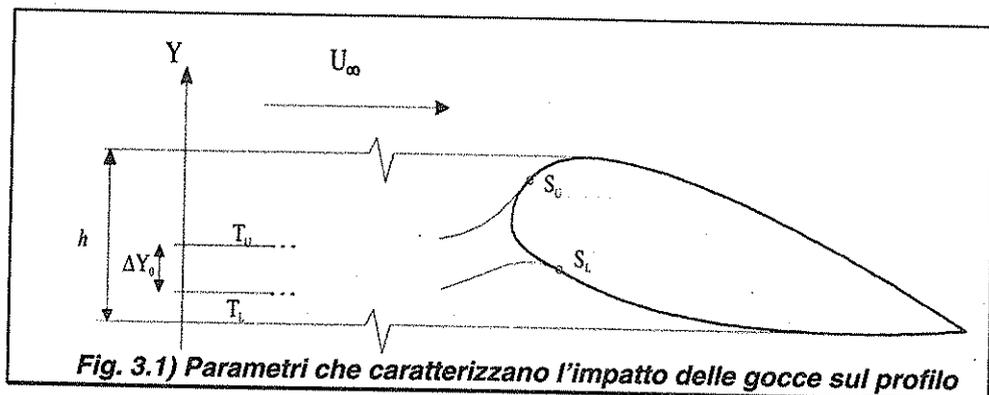
Tab. 2.12) Simboli della severità del ghiaccio

3) FISICA DELL'ACCRESIMENTO DEL GHIACCIO

Le formazioni di ghiaccio usualmente sono causate dal congelamento di gocce d'acqua sopraffusa di vario diametro che colpiscono la superficie del velivolo. Esse possono essere caratterizzate dai seguenti elementi:

- Estensione dell'area bagnata dalle gocce d'acqua;
- Estensione del ghiaccio;
- Tipologia del ghiaccio.

L'estensione della zona bagnata dalle gocce è individuata dalle traiettorie delle gocce d'acqua immerse nel campo aerodinamico creato dal profilo. In particolare tale zona è delimitata dalla traiettoria tangente alla parte superiore del profilo nel punto S_U e da quella tangente alla parte inferiore dello stesso nel punto S_L (Fig. 3.1).



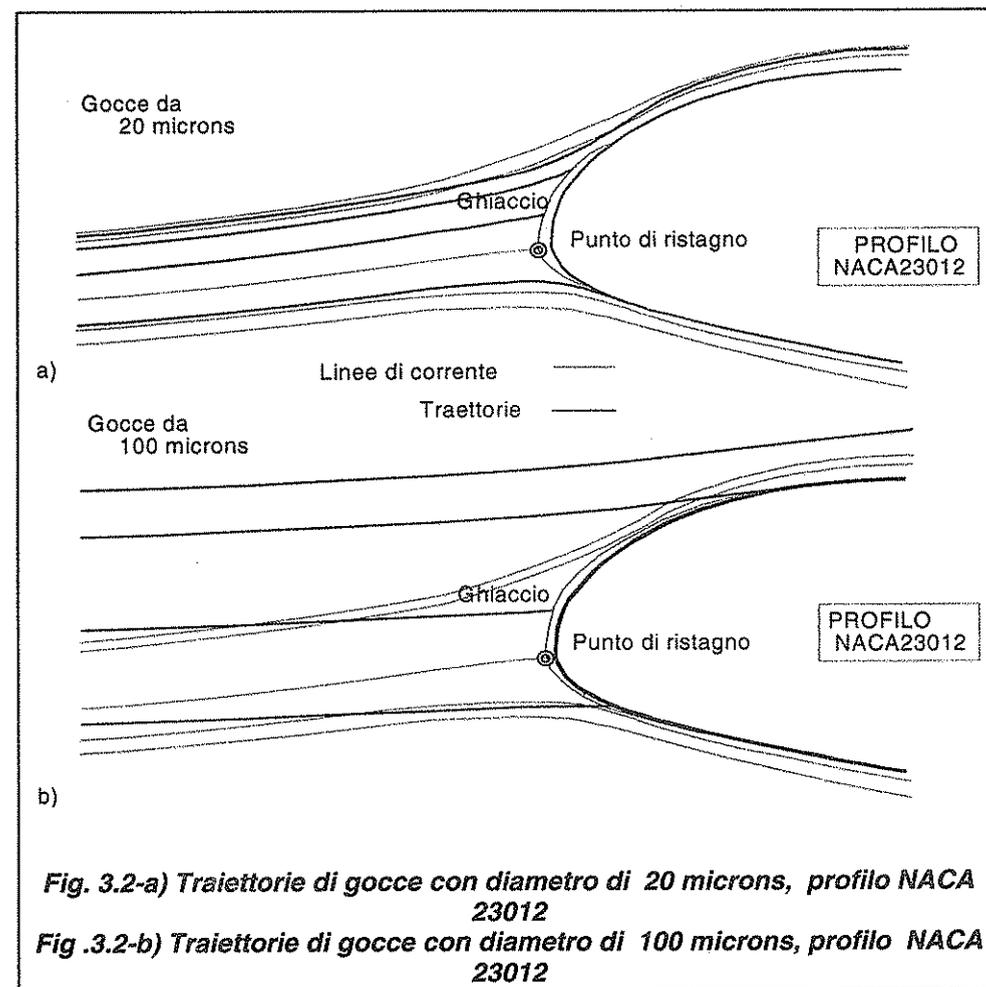
Le traiettorie delle gocce, e conseguentemente l'estensione della zona bagnata, fissate le condizioni atmosferiche, la velocità del velivolo, l'angolo d'incidenza e la forma del profilo, dipendono dal diametro delle gocce stesse. Infatti le gocce di piccole dimensioni sono molto influenzate dal campo aerodinamico e tendono a seguire le linee di corrente, impattando il profilo in zone vicino al punto di ristagno, mentre le gocce più grosse tendono a seguire una traiettoria più rettilinea, bagnando così una zona più ampia del profilo (Fig. 3.2.a e 3.2.b).

L'identificazione delle traiettorie tangenti perciò permette di valutare la quantità d'acqua che impatta sul profilo. Questa quantità è definita da un parametro importante chiamato coefficiente globale di cattura d'acqua E . E può essere calcolato come $\Delta Y_0 / h$, dove h è l'altezza della sezione frontale del profilo e ΔY_0 la distanza tra T_U e T_L (T_U è la traiettoria tangente alla parte superiore del profilo,

mentre T_L rappresenta quella tangente alla parte inferiore) misurata sufficientemente lontana dal profilo, in una zona in cui si può assumere il flusso indisturbato. Da un punto di vista fisico, E rappresenta il rapporto tra la portata d'acqua che impatta sul velivolo rispetto al flusso d'acqua che attraversa una zona ampia come la sezione frontale del profilo. Conoscendo E inoltre è anche possibile

calcolare la portata d'acqua, m , che impatta sul profilo per unità di apertura alare (con U_∞ si indica la velocità asintotica in $[m \cdot s^{-1}]$):

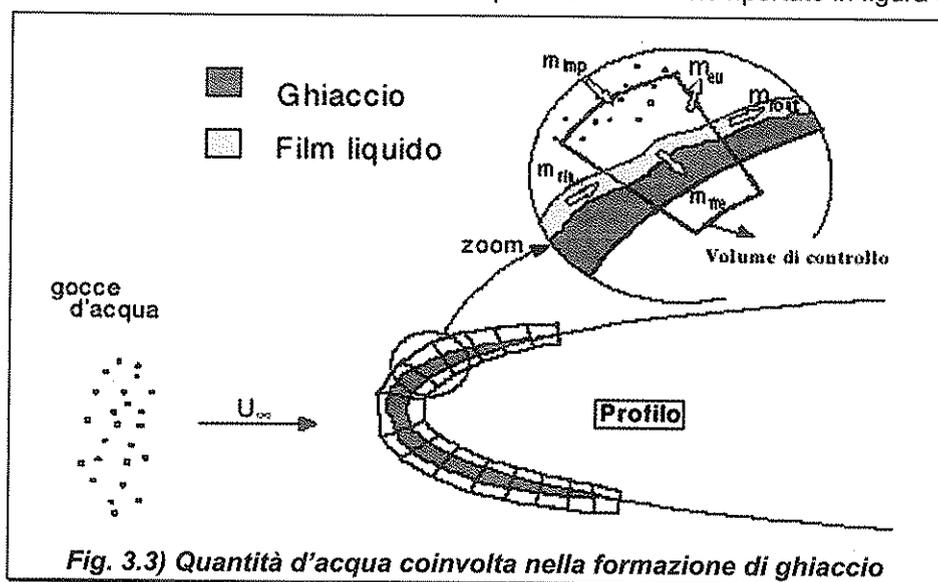
$$m = LWC \cdot E \cdot U_\infty \cdot h \quad [g \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}]$$



Il coefficiente di cattura E dipende da tutte le variabili atmosferiche (eccetto dal contenuto liquido d'acqua o LWC e dalla temperatura), dalle caratteristiche del profilo, dalla velocità e dall'angolo d'incidenza. E aumenta molto quando le dimensioni delle gocce aumentano e/o quando le dimensioni del profilo diminuiscono. Inoltre aumenta leggermente quando la velocità o la quota aumentano.

Una volta individuata la superficie della zona bagnata dalle gocce d'acqua sopraffusa, si passerà ora a determinare la porzione di tale superficie che viene ricoperta dal ghiaccio.

Ovviamente, a temperature prossime allo 0 °C, diminuendo la temperatura aumenta la quantità d'acqua che si trasforma in ghiaccio; naturalmente al di sotto di una certa temperatura è possibile trovare solo ghiaccio, mentre, al di sopra di una certa temperatura tutta l'acqua rimane in forma liquida. L'acqua che bagna il profilo può congelare immediatamente dopo l'impatto, oppure scorrere sul profilo sotto forma di film, rivoletti o gocce ed eventualmente congelare in una zona posteriore del profilo: la quantità di massa interessata rispetto all'energia disponibile costituiscono i parametri che permettono di calcolare la quantità d'acqua che si trasforma in ghiaccio. Per capire questo fenomeno si faccia riferimento al volume di controllo sulla superficie del velivolo riportato in figura 3.3.



In figura 3.3 sono mostrate varie portate d'acqua attraverso un volume di riferimento (volume di controllo). L'acqua può entrare nel volume di controllo attraverso due diverse vie: dalle gocce sopraffuse contenute nell'atmosfera (m_{imp}) o dai volumi di controllo più vicini (m_{rin}) al punto di ristagno del profilo. Una frazione

d'acqua congela e va ad aumentare lo spessore del ghiaccio (m_{ice}) aderente al profilo, un'altra parte rimane liquida e fluisce nel volume di controllo seguente (m_{out}), mentre una terza parte (m_{ev}) lascia il volume di controllo per evaporazione o sublimazione del ghiaccio già presente. In tale dinamica gli scambi energetici principali avvengono per convezione, conduzione e per cessione/assorbimento del calore latente di evaporazione, sublimazione o solidificazione. Per descrivere il bilancio energetico si utilizza un parametro chiamato *frazione congelata*: tale parametro rappresenta la frazione d'acqua trasformata in ghiaccio ed è 1 se tutta l'acqua si trasforma in ghiaccio, è compresa tra 0 ed 1 se solo parte dell'acqua congela ed è 0 se tutta l'acqua rimane allo stato liquido. Quando la temperatura è ben al di sotto dello zero la *frazione congelante* è prossima ad 1 e la formazione di ghiaccio rimane limitata alla zona vicina al punto di ristagno. A temperature più alte la frazione liquida è prevalente ed una buona parte d'acqua riesce a scorrere allontanandosi, anche in maniera sensibile, dalla zona d'impatto. Questo fenomeno è noto con il nome di *'run-back'* e può causare la formazione del ghiaccio in aree posteriori ai limiti della zona d'impatto.

Le tipologie di ghiaccio sulle superfici dei velivoli dipendono da: condizioni atmosferiche, velocità del velivolo, forma del profilo, angolo d'incidenza. Al cambiare di questi parametri si può passare da un tipo d'accrescimento all'altro. Essi sono (Figure 3.4-3.7):

- *ghiaccio granuloso* o *'rime'*, ossia ghiaccio opaco dal colore biancastro;
- *ghiaccio vitreo* o *'glaze'*, ossia ghiaccio trasparente e compatto;
- *ghiaccio misto* o *'mixed'*, formazione caratterizzata dalla presenza contemporanea dei due predetti tipi di ghiaccio;
- *ghiaccio brinoso*, ossia ghiaccio simile alla brina.

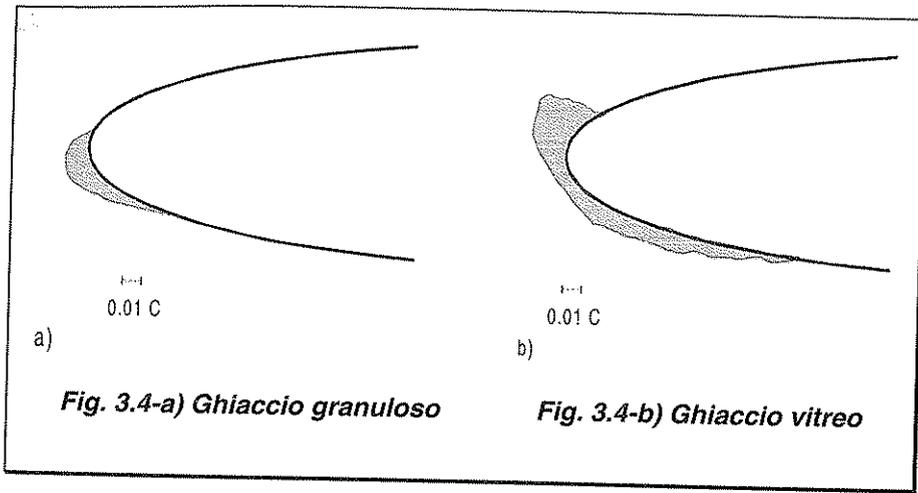


Fig. 3.4-a) Ghiaccio granuloso

Fig. 3.4-b) Ghiaccio vitreo

Ghiaccio granuloso	Ghiaccio vitreo (un corno)	Ghiaccio vitreo (due corni)

Fig. 3.5) Forme di ghiaccio tipiche

Ghiaccio vitreo e misto	Ghiaccio granuloso

Fig. 3.6) Forme di ghiaccio

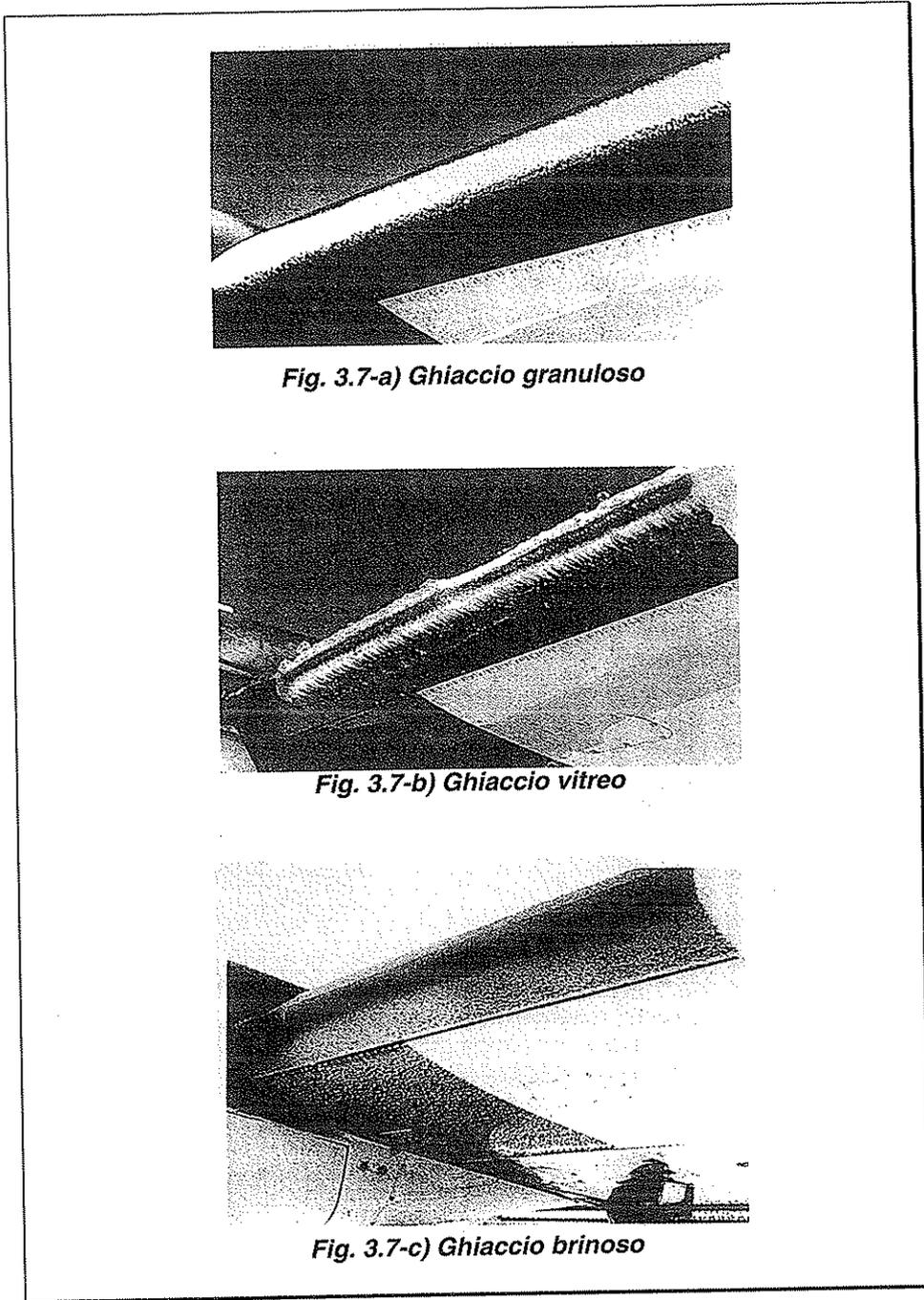


Fig. 3.7-a) Ghiaccio granuloso

Fig. 3.7-b) Ghiaccio vitreo

Fig. 3.7-c) Ghiaccio brinoso

Esaminiamo i predetti tipi di ghiaccio.

Il ghiaccio granuloso è causato da gocce sopraffuse che congelano subito dopo il contatto con la superficie del velivolo; ciò fa sì che il ghiaccio rimanga confinato in prossimità della zona d'impatto delle gocce stesse. Il color latte e l'apparenza opaca di questo tipo di ghiaccio sono causate dall'aria intrappolata tra le gocce d'acqua congelate. Il ghiaccio 'rime' si accumula molto rapidamente e crea delle forme di ghiaccio arrotondate nella zona del bordo d'attacco.

Il ghiaccio vitreo, chiaro o vetrone, è causato da gocce che non congelano immediatamente all'impatto con la superficie ma, prima di trasformarsi in ghiaccio, si uniscono per coalescenza formando gocce di dimensioni maggiori o addirittura sottili film d'acqua. In queste condizioni l'aria non rimane intrappolata ed il ghiaccio risultante ha un aspetto trasparente. Il ghiaccio vetrone ha forme irregolari, caratterizzate da uno o due corni generati dallo scorrimento dell'acqua.

Oltre alle formazioni di ghiaccio di tipo granuloso e vetrone, in natura esistono anche formazioni di ghiaccio intermedie nelle quali coesistono zone con ghiaccio di tipo 'rime' e zone con ghiaccio di tipo 'glaze'. In questo caso la tipologia è definita mista e presenta le caratteristiche strutturali (densità, colore, etc.) di entrambe le suddette tipologie di ghiaccio.

La temperatura ed il LWC sono i principali parametri che contribuiscono a determinare la tipologia di ghiaccio risultante. Ad esempio il ghiaccio 'rime' tipicamente si forma a basse temperature e a bassi valori di LWC, mentre il ghiaccio 'glaze' è caratteristico di temperature relativamente alte (tra 0° e -10°C) ed alti valori di LWC. Questo implica anche che il ghiaccio vitreo può essere generalmente rinvenuto all'interno di nuvole cumuliformi, formazioni in cui il LWC è relativamente elevato, mentre il ghiaccio brinoso può essere trovato all'interno degli strati intermedi di formazioni stratiformi, nuvole in cui il LWC è relativamente basso. Per quanto concerne il ghiaccio misto invece questa tipologia è più frequente all'interno degli strati più bassi di nubi stratiformi.

La dimostrazione concreta dell'effetto della temperatura sulle formazioni di ghiaccio può essere ottenuta facendo riferimento alle prove in galleria del vento su di un profilo NACA 0012 con corda di 0,53 m, tenuto per 8 minuti ad una velocità di 58 m/s, con un LWC di 1,3 g/m³ e gocce con diametro medio (MVD)¹ di 20 µm. Da T = -2°C a T = -8°C il ghiaccio è completamente vetrone; a T = -18°C il ghiaccio è al 50% vetrone e al 50% granuloso; al di sotto di T = -26°C il ghiaccio è completamente 'rime'.

¹ Il Diametro Medio Volumetrico (MVD) può essere definito come il diametro medio delle gocce d'acqua contenute in una nuvola ideale, in grado di provocare un accumulo di ghiaccio pari a quello generato dalle gocce d'acqua di diametro vario, presenti in una nuvola reale.

Un tipo di ghiaccio da non dimenticare poi è il ghiaccio brinoso. Tale tipo di ghiaccio è costituito dal deposito che si forma, per sublimazione del vapore acqueo, allorché un aeromobile, a temperatura molto bassa, attraversa in discesa, in atmosfera serena, uno strato umido e relativamente caldo. Il deposito dei piccoli cristalli di ghiaccio, oltre a peggiorare le prestazioni aerodinamiche del velivolo, può costituire un reale fastidio, allorché tale contaminante, aderendo alla superficie del blindovetro, riduce la visibilità esterna all'equipaggio.

Il ghiaccio brinoso può formarsi anche al suolo nel momento in cui un aeromobile venga lasciato all'aperto nelle notti invernali, serene ed umide.

Il ghiaccio brinoso tende normalmente ad essere sottovalutato, al contrario è utile ricordare che anche una minima contaminazione delle superfici dell'aeromobile può cambiare, in modo drastico, le prestazioni aerodinamiche di un velivolo.

Per concludere questo capitolo, è importante menzionare una particolare forma di ghiaccio chiamata: ghiaccio a *gradino* (Figura 3.8).

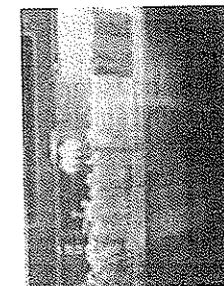


Fig. 3.8) Ghiaccio a gradino

Tale forma di ghiaccio è causata dalle SLD. Tali particelle, è importante ricordare, sono gocce, allo stato sopraffuso, di grandi dimensioni, dimensioni addirittura superiori a quelle considerate per la certificazione dei velivoli (FAR/JAR 25 appendice C); queste gocce riescono a bagnare zone più ampie di quelle normalmente difese dai dispositivi antighiaccio degli aeromobili e quindi possono provocare accumuli di ghiaccio oltre le zone protette del velivolo.

Accumuli di ghiaccio oltre le zone protette sono inoltre possibili perché le SLD sono comunque responsabili del fenomeno del 'run-back'.

I sistemi antighiaccio, nelle suddette condizioni infatti, riescono a sghiacciare il velivolo solo in corrispondenza delle superfici protette, perciò lasciano uno scalino di ghiaccio (da cui ghiaccio a *gradino*) dietro tali superfici che, col passare del tempo, oltre ad ingrossarsi, riduce in modo significativo le prestazioni aerodinamiche dei profili.

La formazione di ghiaccio oltre le zone protette è causata non solo dalle SLD, ma può avvenire anche quando il velivolo è equipaggiato di un sistema di protezione termico non evaporativo. In questo caso la potenza del sistema di protezione non è sufficiente a far evaporare tutta l'acqua ed una parte di acqua non evaporata scorre sulla superficie del profilo, per poi congelare in una zona più arretrata.

4) AERODINAMICA

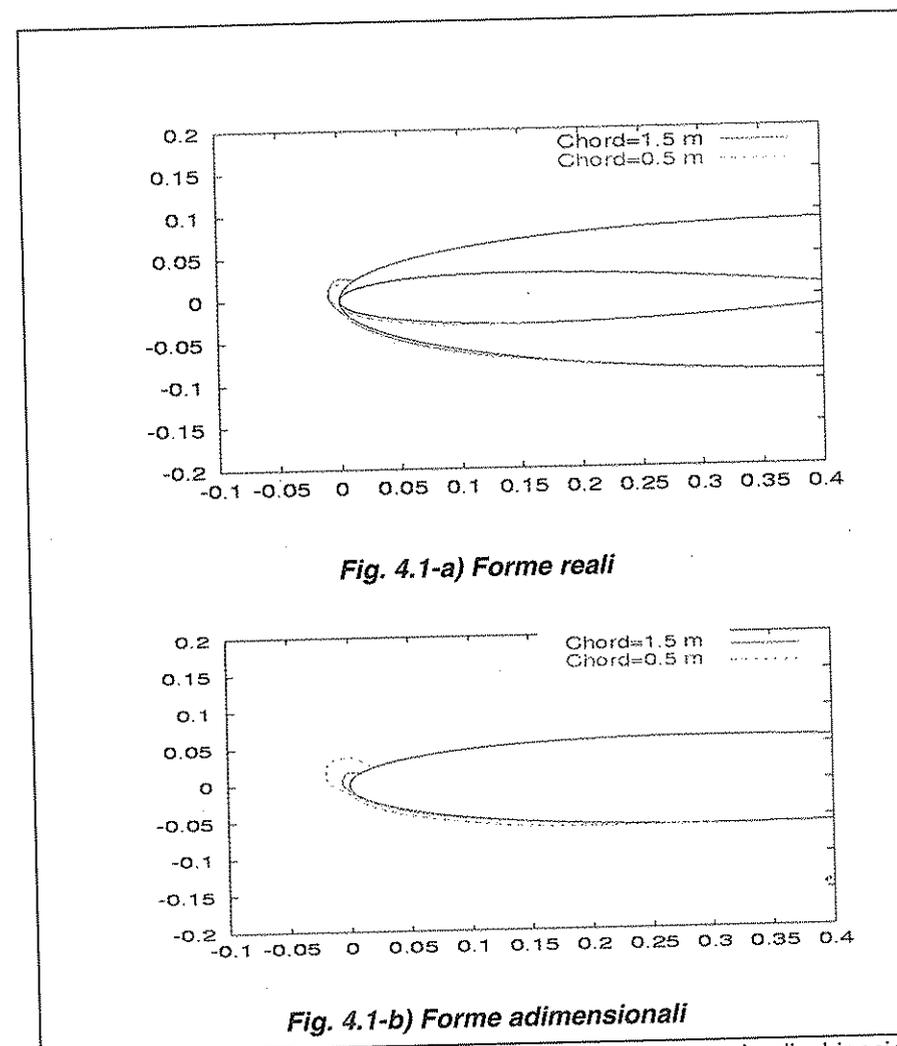
4.1) Introduzione

Nel corso degli anni, l'esperienza accumulata ha consentito di identificare i maggiori problemi correlati al volo in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio; essi possono essere così elencati:

- l'accumulo di ghiaccio sulle sonde pitot-statiche può generare errate indicazioni strumentali e dati errati per il funzionamento del motore e del *Flight Management System* del velivolo;
- la formazione di ghiaccio sulla superficie del velivolo può causare problemi di stabilità e controllo, riduce l'angolo d'incidenza di stallo rispetto a quello del profilo non contaminato e, se ingerito, può provocare danneggiamenti e perfino lo spegnimento dei motori;
- l'accumulo di ghiaccio sulla superficie del velivolo provoca, a parità di altre condizioni, una diminuzione della velocità di volo, della quota di tangenza, un aumento dei consumi di carburante e, più in generale, determina una riduzione dell'efficienza e di tutte le prestazioni del velivolo;
- durante la fase di involo, la formazione di ghiaccio sul velivolo, allunga la corsa di decollo richiesta;
- durante l'avvicinamento finale, l'accumulo di ghiaccio sui piani di coda, può causare lo stallo del gruppo stabilizzatore/equilibratore con conseguente perdita di stabilità longitudinale del velivolo;

La maggior parte dei problemi che abbiamo precedentemente elencati derivano dall'unico fatto che l'accumulo di ghiaccio sul velivolo modifica la forma del profilo alare e, conseguentemente, ciò riduce l'efficienza aerodinamica del profilo stesso e diminuisce il valore dell'angolo di incidenza critico.

E' importante notare poi che questi effetti, a parità di condizioni atmosferiche, sono più deleteri sui velivoli di ridotte dimensioni piuttosto che sui grandi aeromobili utilizzati nel trasporto commerciale. Va puntualizzato infatti che i profili alari di ridotte dimensioni (corda alare relativamente minore) sono caratterizzati da valori di E maggiori rispetto a quelli di grandi dimensioni: conseguentemente, sui profili di ridotte dimensioni, la superficie che viene investita dall'acqua è relativamente più estesa e perciò si potrà assistere ad una maggiore quantità di ghiaccio accumulata in rapporto alle dimensioni del profilo. L'esempio in figura 4.1 illustra proprio questo fenomeno: due profili - di stessa forma, ma differente corda (0.5 e 1.5 metri) - sono stati esposti alle stesse condizioni atmosferiche. Confrontando la geometria e le forme di ghiaccio adimensionalizzate (fig 4.1-b), appare evidente che il ghiaccio accumulato sul profilo minore è più nocivo di quello accumulato sul profilo di maggiori dimensioni.



Oltre ai fenomeni finora elencati, si ricorda che l'accumulo di ghiaccio sui velivoli ne provoca anche un aumento di peso. Tale effetto, tuttavia, è di rilievo secondario rispetto a quelli connessi ai fenomeni citati in precedenza e comunque, anche in questo caso, risulta più preoccupante per i velivoli di ridotte dimensioni. In estrema sintesi, l'effetto più pericoloso dovuto alla formazione di ghiaccio sul velivolo è la sostanziale modifica della forma e quindi delle caratteristiche aerodinamiche del profilo stesso.

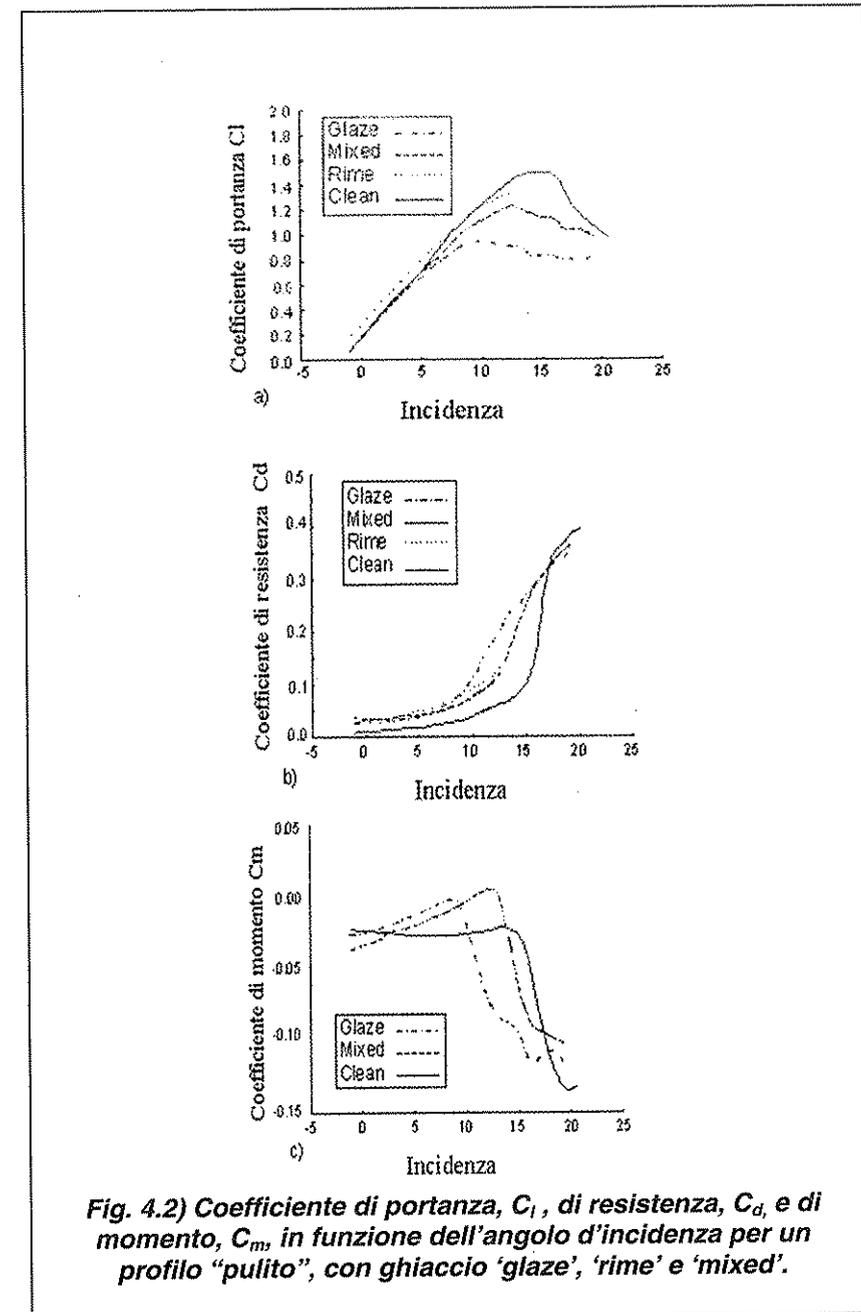
4.2) Gli effetti dell'accumulo di ghiaccio sulle prestazioni del profilo

L'accumulo di ghiaccio può considerarsi un fenomeno stocastico. Le forme di ghiaccio sono influenzate dalla geometria del velivolo, dalle condizioni di volo, dalle condizioni meteorologiche e dal tempo di esposizione alle condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio: conseguentemente, sia le forme di ghiaccio e sia gli effetti che tali formazioni hanno sul velivolo, sono difficilmente prevedibili. Ciononostante, utilizzando le gallerie del vento, è possibile effettuare delle prove per avere almeno un'idea circa le penalizzazioni dovute alla formazione di ghiaccio sui profili alari: la figura 4.2 riporta alcuni risultati di tali prove. Queste si riferiscono ad un classico profilo di un velivolo da trasporto commerciale al quale sono state applicate, sul bordo di attacco, delle tipiche forme simulanti l'accumulo di ghiaccio.

Tali test hanno fornito i seguenti risultati:

- Una diminuzione significativa del C_{Lmax} : la diminuzione massima di C_{Lmax} è di circa il 40% per il ghiaccio 'glaze', mentre è di circa il 20% per il ghiaccio 'mixed'. La forma simulante l'accumulo di ghiaccio 'rime' invece ha causato una diminuzione del C_{Lmax} di circa il 10%.
- Una diminuzione significativa dell'angolo d'incidenza di stallo per ogni tipo di contaminazione (circa 5° per il ghiaccio 'glaze' e circa $2,5^\circ$ per il ghiaccio 'rime' e 'mixed').
- Un aumento sensibile del coefficiente di resistenza che, per ogni tipo di contaminazione, è di circa quattro, cinque volte maggiore rispetto a quello del profilo "pulito".
- Un considerevole cambiamento del coefficiente dei momenti di beccheggio che, a sua volta, provoca una variazione delle caratteristiche di stabilità del profilo.

E' estremamente importante sottolineare che i dati illustrati precedentemente hanno il solo scopo di fornire al lettore l'ordine di grandezza delle penalizzazioni aerodinamiche che è lecito attendersi su di un profilo contaminato dal ghiaccio. Infatti, questi dati, come già accennato, sono stati ottenuti con prove in galleria del vento, su di un profilo specifico e con forme di ghiaccio tipiche e, perciò, tali risultati, non possono essere estesi, in alcun modo, ad altri profili od ad altre forme di ghiaccio. Soprattutto è vitale enfatizzare che, analizzando i predetti risultati, il pilota deve sottrarsi alla tentazione di ritenere che una forma di ghiaccio possa essere più o meno pericolosa di un'altra. Difatti, nelle reali condizioni operative, molto difficilmente il pilota ha la possibilità di valutare correttamente il tipo, la forma, il rateo di accrescimento e lo spessore del ghiaccio che si sta accumulando sul proprio velivolo: quindi, ai fini operativi, è buona norma considerare ogni tipo di contaminazione con la stessa attenzione.



Un altro tipo di contaminazione particolarmente insidiosa è la brina; la brina ha l'aspetto di un sottile strato cristallino, con una superficie molto ruvida, causato dal congelamento dell'umidità dell'aria sulle superfici fredde (al di sotto dello 0°C) del velivolo. Questo tipo di ghiaccio è pericoloso a causa della sua superficie ruvida che, specialmente vicino al bordo d'attacco, può causare sensibili diminuzioni della depressione sul dorso dell'ala ed una conseguente diminuzione della portanza.

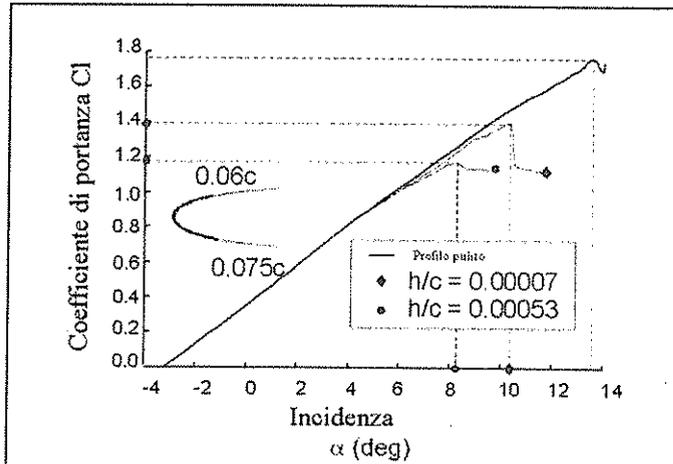


Fig. 4.3) Variazione del coefficiente di portanza, C_L , in funzione dell'angolo d'incidenza per un profilo "pulito" e con brina (le forme simulanti la presenza del contaminante si estendono per il 6% ed il 7.5% della corda rispettivamente sul dorso e ventre dell'ala)

I risultati delle prove in galleria del vento (Fig. 4.3) con sagome aventi una rugosità relativa h/c (rapporto tra altezza della rugosità e corda del profilo), corrispondente a quella tipica della brina che inizia ad accumularsi sul bordo d'attacco ($h/c = 0.00007$), hanno mostrato una riduzione importante del C_{Lmax} e dell'angolo d'incidenza di stallo, rispettivamente di circa il 20% e 3° . Invece il C_{Lmax} e l'angolo d'incidenza di stallo sono diminuiti rispettivamente di circa il 33% e 5° con una rugosità relativa maggiore, tipica della contaminazione residua dopo la conclusione di un ciclo di sghiacciamento ($h/c = 0.00053$).

Se invece si considera un profilo con lo 'slat' esteso, il degrado delle prestazioni è meno consistente: il C_{Lmax} si riduce di circa il 5% con un $h/c = 0.00007$ e di circa il 10% con un $h/c = 0.00053$, mentre la diminuzione dell'angolo d'incidenza di stallo rimane intorno ai 3° , 5° indipendentemente dal tipo di rugosità relativa: in altri termini i velivoli senza 'slat' risultano più

critici nel fronteggiare la formazione di brina sul bordo d'attacco dell'ala rispetto ai velivoli equipaggiati con tali superfici.

Come già accennato, sono molteplici le variabili che influenzano la formazione di ghiaccio sull'aeromobile; finora ci si è limitati a considerare solo in quale modo sagome ben determinate (simulanti le forme che il ghiaccio può assumere quando il velivolo è esposto a condizioni favorevoli alla formazione di tale contaminante) possono influire sulle prestazioni di un profilo alare, a prescindere dal parametro tempo. In realtà occorre tener presente che il comportamento e le prestazioni di un profilo cambiano apprezzabilmente anche in funzione della durata di tale esposizione, in quanto tale parametro influenza notevolmente la forma e l'estensione del ghiaccio che aderisce al velivolo.

La figura 4.4, ad esempio, mostra le variazioni di forma che formazioni di ghiaccio 'rime' e 'glaze' hanno subito all'aumentare del tempo di esposizione a condizioni favorevoli alla formazione di tale contaminante. Si può notare come, in entrambi i casi, l'estensione del ghiaccio accumulato sul profilo aumenta con il tempo e come, in particolare, aumentano le dimensioni dei 'corni' del ghiaccio 'glaze'. D'altro canto si può osservare che l'estensione della superficie alare su cui le varie forme di ghiaccio insistono rimane, invece, invariata.

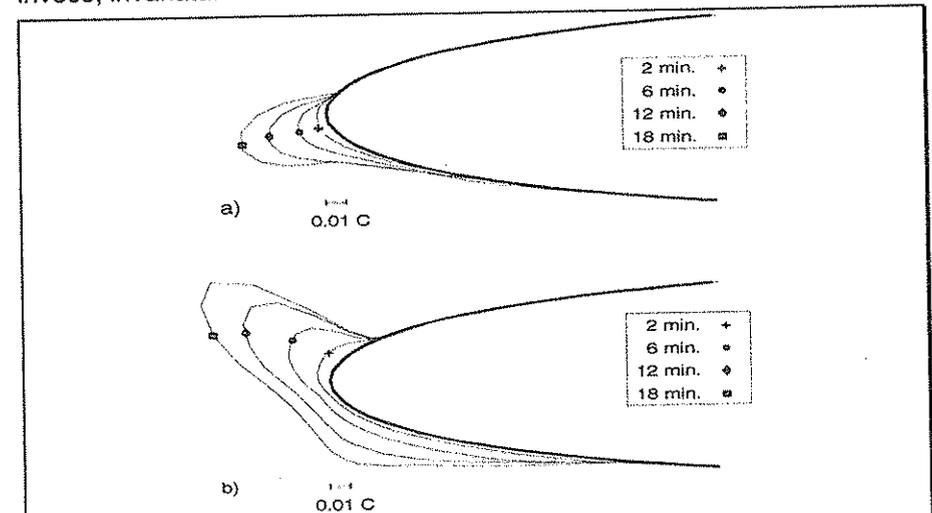


Fig. 4.4) Variazione della forma di ghiaccio con il tempo: a) 'Rime'; b) 'Glaze'.

Inoltre sono anche state condotte delle prove in galleria del vento in cui, a parità di tutte le altre condizioni, si sono valutate, quantitativamente, le variazioni delle prestazioni di un profilo in funzione del tempo di esposizione

a condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio. In questi 'test' sono stati provati due diversi profili aerodinamici: uno era quello tipico di un piano di coda di un velivolo da trasporto, mentre l'altro era quello tipico di un'ala di un moderno 'Business Jet' (Fig. 4.5 e 4.6).

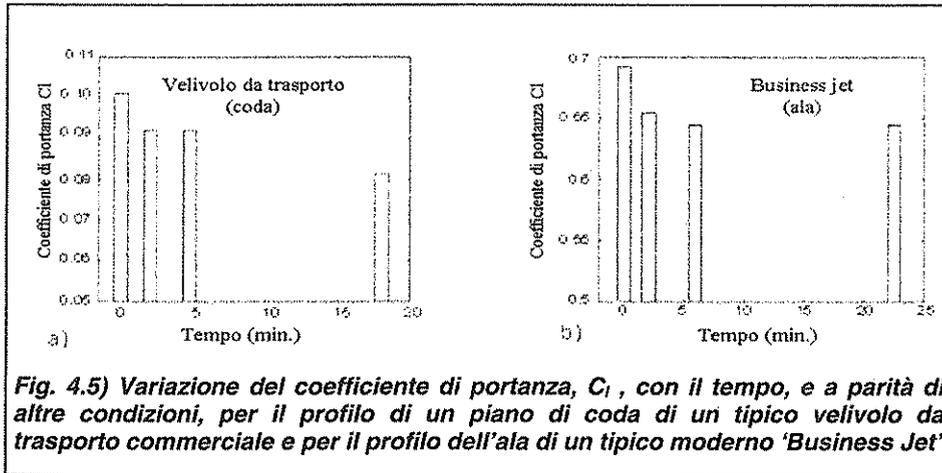


Fig. 4.5) Variazione del coefficiente di portanza, C_l , con il tempo, e a parità di altre condizioni, per il profilo di un piano di coda di un tipico velivolo da trasporto commerciale e per il profilo dell'ala di un tipico moderno 'Business Jet'

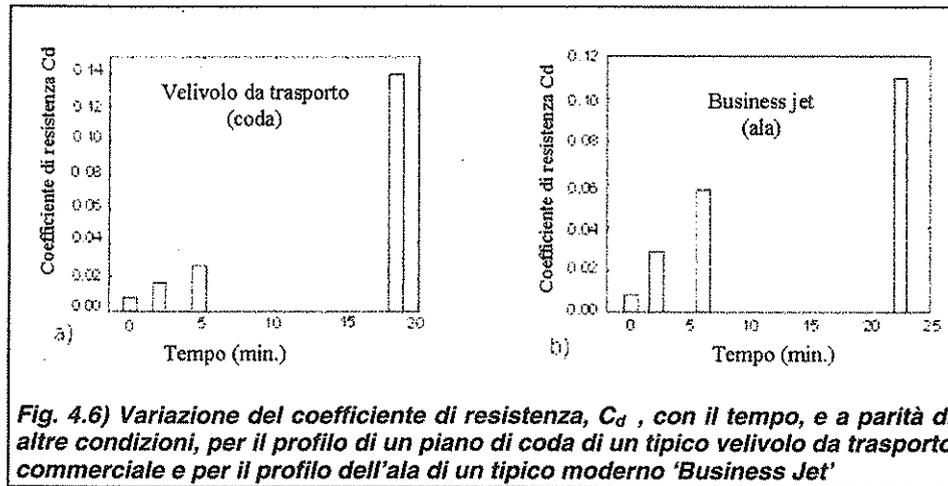


Fig. 4.6) Variazione del coefficiente di resistenza, C_d , con il tempo, e a parità di altre condizioni, per il profilo di un piano di coda di un tipico velivolo da trasporto commerciale e per il profilo dell'ala di un tipico moderno 'Business Jet'

In estrema sintesi tali prove, in entrambi i profili, mettono in luce che mentre il C_l presenta una cospicua riduzione iniziale per poi stabilizzarsi, il C_d mostra un aumento continuo con il trascorrere del tempo.

4.3) Gli effetti dell'accumulo di ghiaccio sulle caratteristiche di controllabilità del velivolo

La riduzione di portanza, l'aumento di resistenza, la riduzione dell'angolo d'incidenza di stallo e le variazioni del coefficiente dei momenti picchianti, tutti fenomeni possibili nelle operazioni condotte in condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio, sono conseguenze dirette delle alterazioni del campo di pressione sulle superfici portanti causate dall'accumulo di ghiaccio sul velivolo. In particolare la distorsione della distribuzione delle pressioni può influenzare anche gli sforzi di barra e l'efficienza delle superfici di controllo aerodinamico, causando quindi problemi di controllabilità del velivolo e avendo perciò un impatto diretto sulla sicurezza delle operazioni di volo.

Nella figura 4.7 sono state riportate, qualitativamente, le risultanti delle distribuzioni dei coefficienti di pressione di un profilo, ottenibili a due differenti angoli di incidenza positiva.

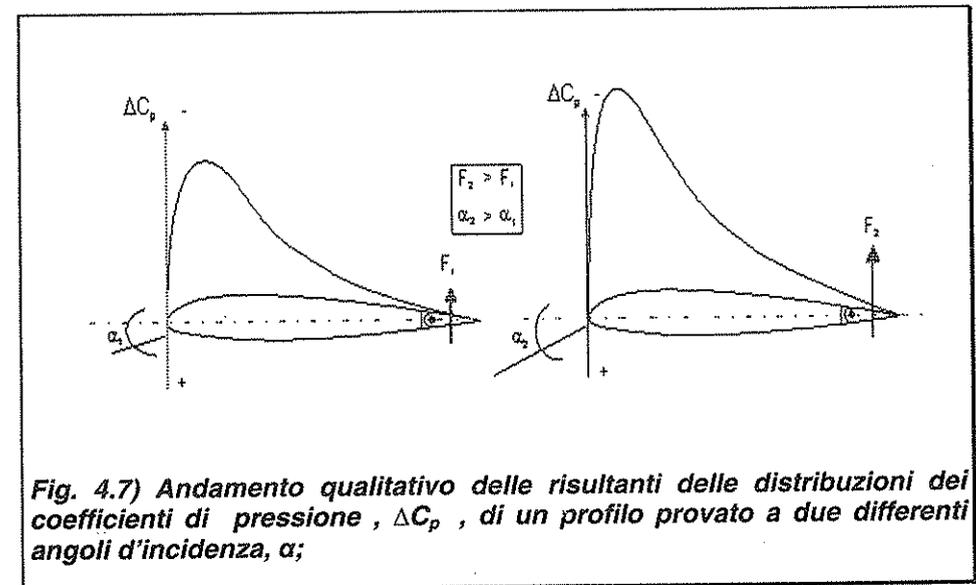


Fig. 4.7) Andamento qualitativo delle risultanti delle distribuzioni dei coefficienti di pressione, ΔC_p , di un profilo provato a due differenti angoli d'incidenza, α ;

Nella figura 4.7 si nota che la superficie mobile del profilo è sottoposta ad una depressione che aumenta ($F_2 > F_1$) all'aumentare dell'angolo d'incidenza; questa forza genera un momento di cerniera che tende a spostare il bordo di uscita della superficie mobile verso l'alto.

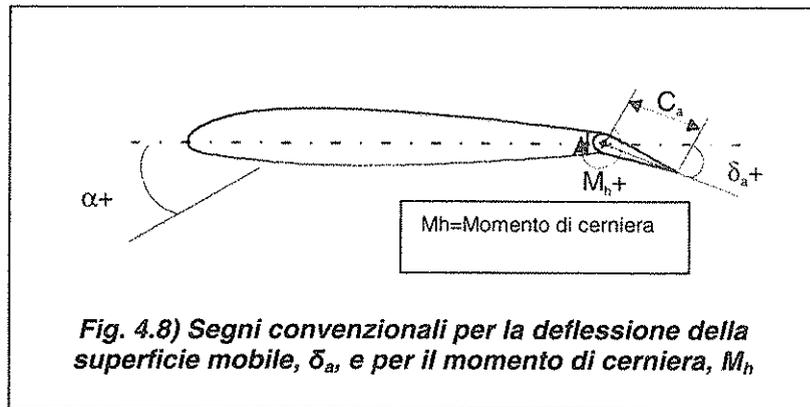


Fig. 4.8) Segni convenzionali per la deflessione della superficie mobile, δ_a , e per il momento di cerniera, M_h

Questo momento di cerniera, M_h , (o il corrispondente coefficiente dei momenti di cerniera C_h) è convenzionalmente considerato positivo quando, come mostrato in figura 4.8, tende a spostare il bordo d'uscita della superficie mobile verso il basso. Nel momento in cui la superficie mobile viene ruotata verso il basso (δ_a positivo) la depressione, su tale superficie (Fig. 4.9), aumenta e genera un momento di cerniera negativo M_{h2} , di valore assoluto maggiore rispetto a quello precedente M_{h1} , che tende a riportare la superficie mobile nella sua posizione originaria.

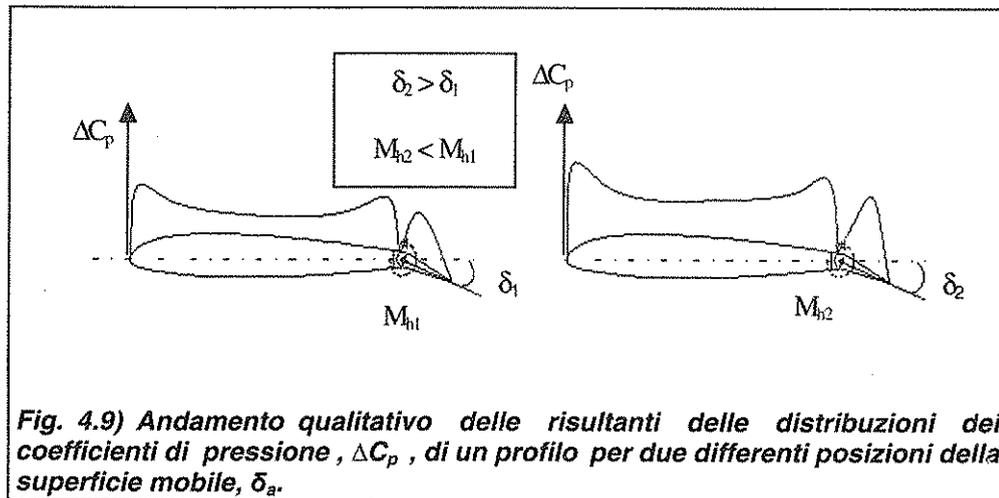


Fig. 4.9) Andamento qualitativo delle risultanti delle distribuzioni dei coefficienti di pressione, ΔC_p , di un profilo per due differenti posizioni della superficie mobile, δ_a .

Nel momento in cui, invece, la superficie mobile viene ruotata verso l'alto (δ_a negativo), la depressione diminuisce (se la deflessione è sufficientemente ampia può addirittura svilupparsi una forza di compressione) e genera, ancora una volta, un momento di cerniera che tende a riportare la superficie mobile nella sua posizione originaria.

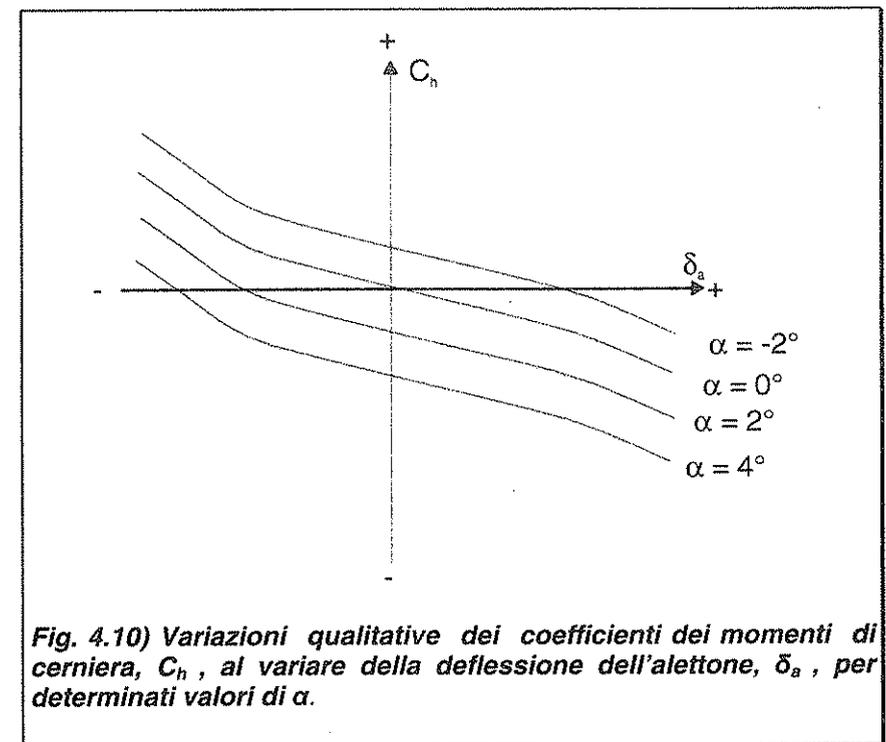


Fig. 4.10) Variazioni qualitative dei coefficienti dei momenti di cerniera, C_h , al variare della deflessione dell'alettone, δ_a , per determinati valori di α .

Le variazioni dei coefficienti dei momenti di cerniera possono essere riassunte dal diagramma di C_h in funzione di δ_a , per specifici angoli d'incidenza, α (Fig. 4.10). Per un profilo convenzionale che vola ad un angolo d'incidenza positivo ed in cui una certa superficie mobile viene ruotata verso il basso (δ_a positivo), si può osservare che il valore di C_h rimane sempre negativo, ma aumenta in valore assoluto quando sia α che δ_a aumentano. Volando sempre ad angolo d'incidenza positivo, ma ruotando la superficie mobile verso l'alto (δ_a negativo), si nota che il valore di C_h è inizialmente ancora negativo, ma diminuisce in valore assoluto all'aumentare di δ_a , finché, per un certo valore di δ_a , C_h diventa positivo. In estrema sintesi il grafico di figura 4.10 mette in luce che, ad ogni variazione di α e δ_a , normalmente si sviluppano dei momenti che tendono a riportare le superfici mobili nella loro posizione neutra.

Quanto detto però, potrebbe non essere valido per un profilo aerodinamico contaminato dal ghiaccio. Infatti, generalmente, tali profili, sono caratterizzati da un flusso aerodinamico influenzato da una bolla di separazione, posizionata a valle dell'accumulo di ghiaccio, di dimensioni variabili in funzione dell'angolo d'incidenza del velivolo (Fig. 4.11); in particolare,

l'estensione di tale bolla, sul dorso, aumenta all'aumentare dell'angolo d'incidenza, mentre tale estensione, sul ventre, diminuisce all'aumentare di α .

L'effetto della bolla è quello di variare completamente la distribuzione della pressione attorno a tutto il profilo, compresa anche la zona in corrispondenza del bordo d'uscita, penalizzando, come già detto, l'efficienza del profilo ed il valore dell'angolo d'incidenza critico, ma, soprattutto, alterando le normali forze aerodinamiche che insistono sulle superfici di controllo.

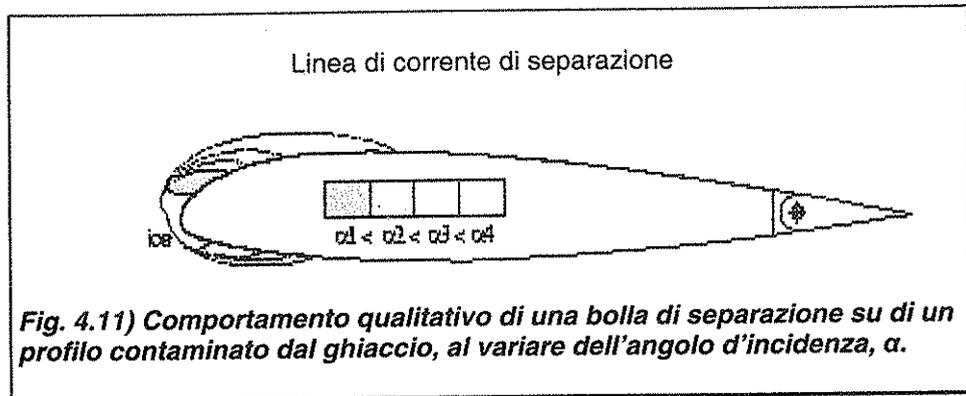


Fig. 4.11) Comportamento qualitativo di una bolla di separazione su di un profilo contaminato dal ghiaccio, al variare dell'angolo d'incidenza, α .

A tale proposito le prove condotte in galleria del vento su di un profilo NACA23012 (Fig. 4.12) forniscono un'idea dell'influenza che le formazioni di ghiaccio possono avere sulle caratteristiche di controllabilità di un velivolo.

Per $\delta_a = 0^\circ$, sul profilo "pulito" (Fig. 4.12), il valore di C_h diminuisce gradualmente all'aumentare dell'angolo d'incidenza fino a quando tale angolo non è prossimo a quello di stallo; dopo tale valore, si assiste invece, ad una brusca e ripida diminuzione dei coefficienti dei momenti di cerniera, C_h . Nel momento in cui il profilo è contaminato dal ghiaccio, la marcata riduzione di C_h è riscontrabile già alle basse incidenze, come evidenziato nella figura 4.12, decisamente inferiori rispetto a quella di stallo del profilo 'pulito'. Ad esempio, possiamo notare che con una forma di ghiaccio 'a scalino' ('ice step') di 6,35 mm, posizionata al 2% della corda, il valore di C_h , per α intorno a 8° , diminuisce (aumenta in valore assoluto) fino a tre volte rispetto a quello del profilo "pulito". In altre parole, l'accumulo di ghiaccio su di un profilo, già alle basse incidenze, è in grado di modificare, tra gli altri parametri, i naturali e normali momenti di cerniera delle superfici di controllo, provocando così una innaturale e pericolosa tendenza di tali superfici a spostarsi spontaneamente dalla loro corretta posizione.

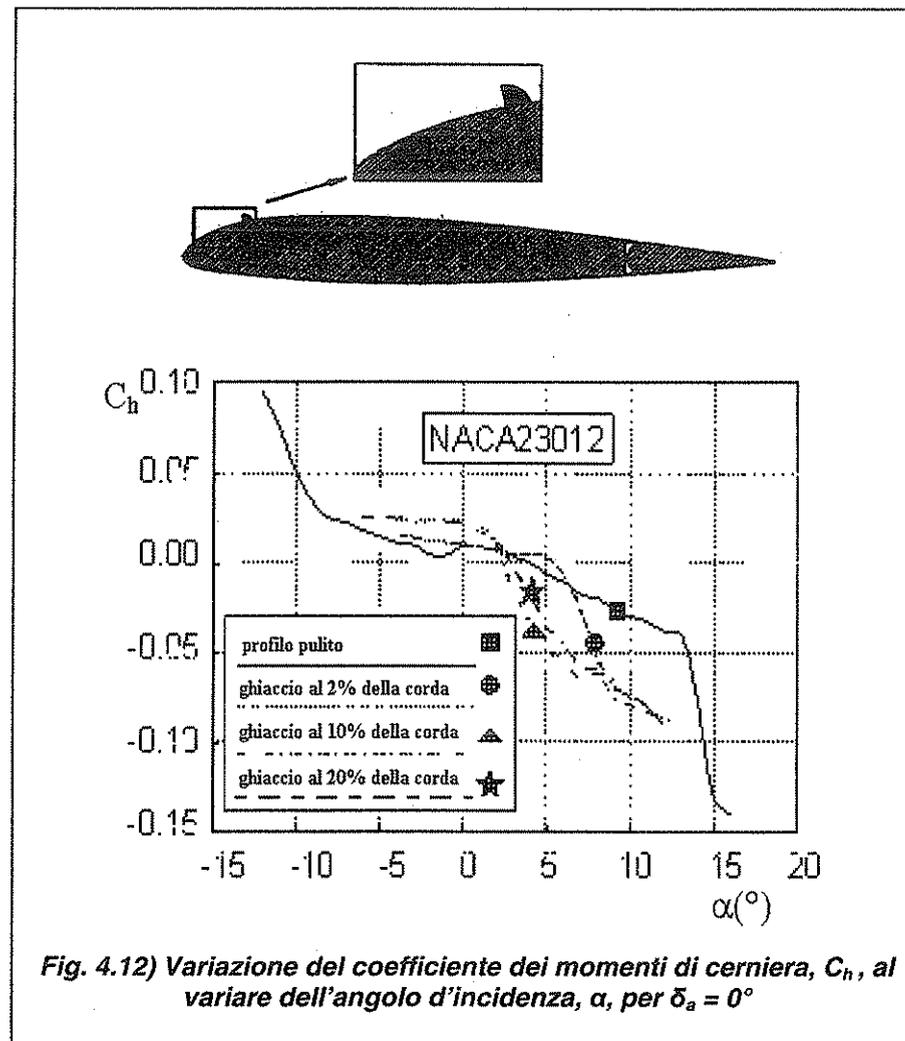


Fig. 4.12) Variazione del coefficiente dei momenti di cerniera, C_h , al variare dell'angolo d'incidenza, α , per $\delta_a = 0^\circ$

La posizione della formazione di ghiaccio è uno dei parametri che maggiormente modifica le caratteristiche dei momenti di cerniera. Infatti, muovendo la posizione del 'ice step' lungo il dorso del profilo è possibile trovare l'ubicazione in cui la variazione improvvisa di C_h si verifica per l'angolo d'incidenza minore possibile. Ad esempio, nel caso presentato in figura 4.12, tale angolo corrisponde a circa 1° per una forma di ghiaccio posizionata tra il 10% ed il 20% della corda.

La variazione della pendenza della curva del C_h inoltre, può anche provocare un cambio di segno nel coefficiente dei momenti. Infatti, sempre osservando la figura 4.12, possiamo notare che, il valore positivo di C_h ,

previsto a circa 3° per il profilo 'pulito', diventa negativo, e notevolmente più elevato in valore assoluto, per il profilo contaminato dal ghiaccio. In altri termini, in condizioni particolari, l'accumulo di ghiaccio sul profilo è in grado di generare momenti di cerniera addirittura di segno opposto rispetto a quello dei momenti che normalmente dovrebbero insistere sulle superfici di controllo: tale fenomeno è denominato 'inversione dei momenti di cerniera' e, com'è facilmente intuibile, può rendere veramente critica la controllabilità del velivolo. Inoltre, soffermando la nostra attenzione sui comandi di volo di tipo "reversibile"², va ricordato che la variazione dei normali momenti di cerniera influenza anche gli sforzi abituali che il pilota deve esercitare per controllare e manovrare il velivolo e, in determinate circostanze, tali sforzi possono diventare veramente consistenti.

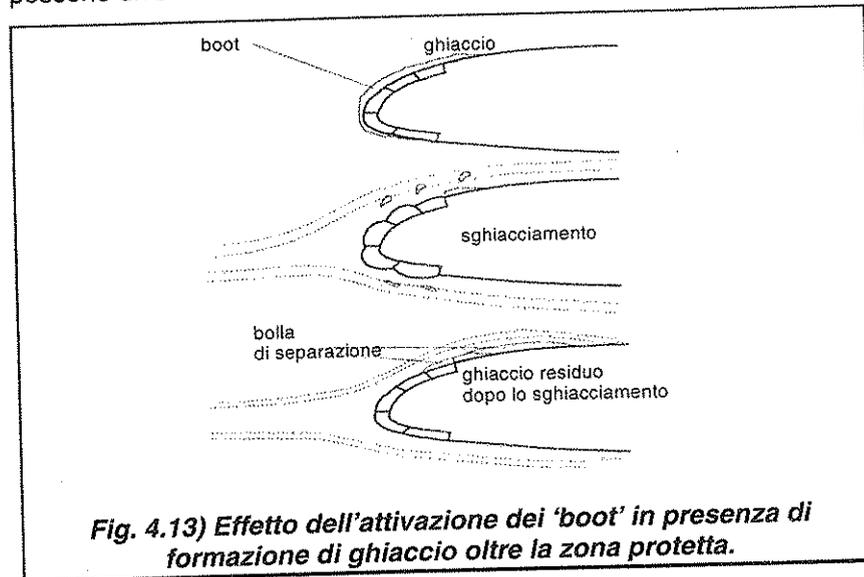


Fig. 4.13) Effetto dell'attivazione dei 'boot' in presenza di formazione di ghiaccio oltre la zona protetta.

In genere, solamente le 'Supercooled Large Droplets' (SLD) possono generare formazioni di ghiaccio che sono in grado di influenzare così drammaticamente il campo fluidodinamico attorno al profilo. Infatti, come già accennato, le SLD possono provocare, sulle superfici alari, accumuli di ghiaccio in posizioni ben arretrate e spesso, addirittura, oltre la zona protetta dai sistemi di sghiacciamento dei velivoli. Poi, nel momento in cui tali sistemi vengono operati (si pensi, ad esempio, ai 'boots' pneumatici installati su molti velivoli) una parte del ghiaccio, solo quella in corrispondenza del bordo d'attacco, si stacca mentre l'altra, accumulata dietro la zona protetta, rimane

² Si definiscono "reversibili" quei comandi di volo che usano sistemi tali per cui la barra di comando del pilota risulta collegata alla superficie di controllo semplicemente tramite cavi, pulegge, squadre di rinvio, aste.

e crea un gradino che provoca la separazione dello strato limite e quindi, una diminuzione dell'efficacia delle superfici di controllo (Fig. 4.13).

Il ghiaccio residuo, perciò, non solo causa un peggioramento delle prestazioni del velivolo, ma è in grado di modificare il campo aerodinamico attorno alle superfici di controllo al punto tale che queste, sottoposte a forze e momenti anomali, autonomamente e violentemente, sono in grado di spostarsi e portarsi a fondo corsa: a tal proposito, se l'alettone è la superficie di controllo interessata da tali eventi, tale fenomeno prende, in gergo, il nome di 'aileron snatch'. È opportuno ricordare poi che, in genere, nel momento in cui tali fenomeni si manifestano, le forze in gioco possono essere di notevole entità e comunque tali da impedire ai piloti di spostare i comandi dal fondo corsa. Inutile puntualizzare che gli effetti d'un violento ed autonomo spostamento d'una superficie di controllo possono essere disastrosi, come purtroppo dimostrato dall'incidente dell' ATR72, a Roselawn, nel 1994. In effetti, in tal evento, la commissione d'inchiesta concluse che la perdita di controllo del velivolo, fu essenzialmente provocata da un violento ed inconfondibile 'aileron snatch' generato dall'accumulo di ghiaccio dietro la superficie alare protetta del velivolo.

5) I SISTEMI PER L'INDIVIDUAZIONE DEL GHIACCIO

I sistemi per la rilevazione del ghiaccio sono concepiti per segnalare all'equipaggio l'accumulo di tale contaminante su particolari punti del velivolo. Tali sistemi possono essere usati per individuare l'inizio delle condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, per valutare l'effettivo rateo di accrescimento del ghiaccio sul velivolo ed infine per identificare il termine di tale evento.

Il cuore di questi sistemi è costituito da sensori sensibili a tale contaminante: un sensore per l'individuazione del ghiaccio può essere inserito in un sistema d'allarme o in un sistema primario antighiaccio.

Un semplice sistema d'allarme è concepito unicamente per avvertire il pilota della presenza di condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio. In tale sistema però, rimane al pilota la responsabilità di individuare l'eventuale accumulo di ghiaccio o di altri contaminanti sul velivolo e quindi mettere in atto le azioni appropriate in aderenza alle indicazioni riportate sul manuale del velivolo.

Un sistema primario antighiaccio invece è un impianto di protezione/sghiacciamento completamente automatico. In questi sistemi naturalmente, i sensori devono essere perfettamente affidabili, inoltre la logica di discriminazione della contaminazione deve essere assolutamente attendibile. Tali sistemi poi, vengono normalmente corredati da numerose spie d'allarme (presenza/assenza di ghiaccio, sistema di protezione attivato/non attivato, eventuali avarie) che forniscono all'equipaggio tutte le informazioni necessarie per controllare lo stato del sistema.

I sensori per l'individuazione del ghiaccio possono essere classificati come "intrusivi" (Fig. 5.1) o "non-intrusivi" (Fig. 5.2). Un sensore "intrusivo" normalmente è sporgente e può modificare il flusso aerodinamico nel quale è immerso, mentre uno "non intrusivo" è installato a filo della superficie interessata e non è in grado di modificare il campo fluidodinamico attorno ad essa. Nel momento in cui le gocce d'acqua sopraffusa solidificano, tali sensori, se anche la loro parte sensibile è interessata dal ghiaccio, sono in grado di identificare la formazione di questo contaminante e, in base alle specifiche del sensore, misurarne altresì le sue caratteristiche.

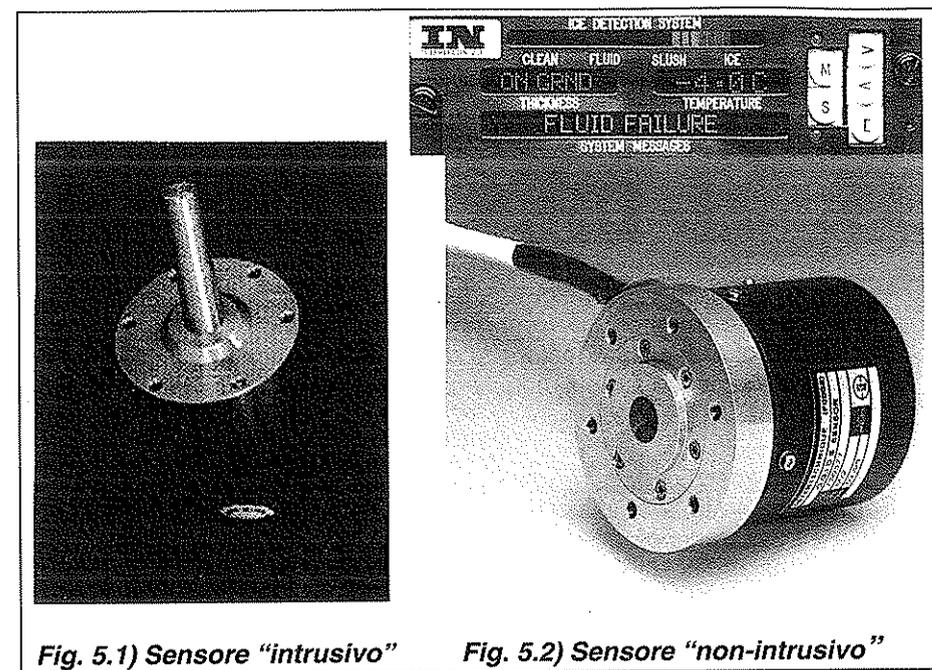


Fig. 5.1) Sensore "intrusivo"

Fig. 5.2) Sensore "non-intrusivo"

La ricerca ha sviluppato numerosi sistemi che, utilizzando i sensori sopra descritti, sono in grado di individuare le eventuali formazioni di ghiaccio. In funzione della loro filosofia di funzionamento tali sistemi possono essere classificati nel modo seguente:

- Sistemi basati su sonde visive
- Sistemi per l'individuazione della formazione del ghiaccio
- Sistemi per la determinazione dello spessore del ghiaccio
- Sistemi basati sul monitoraggio delle prestazioni aerodinamiche
- Sistemi per la visualizzazione delle superfici
- Sistemi basati su sensori remoti
- Sistemi specifici per l'identificazione del ghiaccio al suolo
- Sistemi miscelanei

5.1) Sistemi basati su sonde visive

Si basano su elementi visibili dal pilota (sonde specifiche e/o non specifiche) usati per identificare l'accumulo di ghiaccio.

Sonde specifiche.

Sono installate sul velivolo con il compito specifico di essere usate per

identificare eventuali formazioni di ghiaccio. Tali sonde possono essere costituite dai seguenti elementi:

- Cilindri o piccoli profili alari sporgenti dal bordo d'attacco delle ali o dalle prese d'aria o dalla superficie del velivolo.
- Cordoncini sul dorso dell'ala per identificare, al suolo, la presenza di ghiaccio o altro contaminante; durante i controlli esterni, nel momento in cui essi vengono toccati, l'eventuale presenza di ghiaccio, ne impedisce il libero movimento.
- Superfici rifrattive o colorate di nero, ubicate sul dorso dell'ala, per identificare, al suolo, le formazioni di ghiaccio o di altro contaminante. Grazie al particolare colore o alle caratteristiche di tali superfici è possibile, osservandole con la dovuta attenzione, scorgere eventuali accumuli di ghiaccio.

Sonde non-specifiche.

Sono costituite da svariati componenti e parti ubicati entro il campo visivo del pilota ed usati anche per identificare eventuali formazioni di ghiaccio. Esse possono essere costituite dai seguenti elementi:

- tergicristalli;
- montanti dei blindovetri;
- prese d'aria dei motori od ogive delle eliche;
- ogni altra parte (trasparenti laterali, zone non protette dell'ala, etc.) che incidentalmente è soggetta a formazioni di ghiaccio.

Le sonde visive, in genere, possono fornire le seguenti informazioni:

- l'inizio della formazione del ghiaccio;
- una stima del rateo di accrescimento della formazione;
- una stima dello spessore di tale contaminante;
- se la sonda è periodicamente sghiacciata, la fine della formazione stessa.

Grazie a queste informazioni l'equipaggio, in presenza di condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, può decidere se operare, o meno, i vari sistemi di protezione dal ghiaccio di cui il velivolo è dotato. In effetti tali sonde consentono anche di identificare formazioni di ghiaccio particolarmente rilevanti, come quelle tipiche provocate dal congelamento delle SLD. Identificare univocamente queste formazioni è particolarmente importante in quanto, non sempre, gli impianti antighiaccio consentono di liberare il velivolo da tali accumuli. Ad esempio, la presenza di ghiaccio sui trasparenti laterali dell'ATR42-72 costituisce l'indicazione visiva che permette all'equipaggio di determinare che la formazione di ghiaccio in corso

è dovuta alla presenza di SLD e quindi è particolarmente pericolosa.

Lo svantaggio maggiore delle sonde in questione è che richiedono una stima dell'accumulo del ghiaccio soggettiva e quindi necessitano di una buona preparazione ed esperienza da parte dei piloti.

5.2) Sistemi per l'individuazione della formazione del ghiaccio

Questi sistemi sono concepiti per rilevare, in volo, l'accumulo di ghiaccio sulle superfici del velivolo. Di seguito si presenteranno le caratteristiche principali dei sistemi maggiormente usati:

- **Sistemi basati su elementi oscillanti (trasduttori piezoelettrici, magnetostrittivi o induttivi)**

Il cuore di tali impianti è costituito da un particolare elemento che oscilla ad una frequenza naturale ben determinata. L'accumulo di ghiaccio modifica la frequenza naturale di oscillazione dell'elemento sensibile della sonda e quindi, misurando il fenomeno, è possibile determinare la presenza di ghiaccio su tale sensore. Inoltre, una volta stabilita la presenza del contaminante, la sonda viene sghiacciata per poter ripetere il ciclo di individuazione del ghiaccio. Questa tecnologia, attualmente, è la più usata (sensori Rosemount).

- **Sistemi basati su superfici oscillanti**

Il nucleo di tali impianti è costituito da membrane o diaframmi che, eccitati da trasduttori piezoelettrici, oscillano ad una frequenza ben determinata. L'accumulo di ghiaccio su tali superfici ne aumenta la rigidità e quindi la frequenza di oscillazione. Misurando, perciò, la variazione della frequenza di oscillazione di tali membrane o diaframmi è possibile determinare la presenza di ghiaccio su tali sensori. L'elemento sensibile può essere installato aderente alla superficie del velivolo oppure sporgente, a similitudine delle numerose antenne montate sulla fusoliera degli aeromobili. Questi sistemi sono stati sviluppati dalla Vibrometer e certificati sul Dash 8-400.

- **Sistemi basati su spatole e dischi ruotanti**

Tale sistema è composto da un disco ruotante, esposto perpendicolarmente alla corrente aerodinamica, e da una spatola con il compito di rimuovere il ghiaccio dalla superficie del disco. Nel momento in cui il ghiaccio inizia a formarsi sul disco, la spatola comincia ad esercitare un momento resistente nel tentativo di

rimuovere il ghiaccio dalla superficie del disco stesso. Misurando, perciò, la variazione di coppia necessaria a mantenere il disco in rotazione è possibile dedurre la presenza di contaminante su tale elemento. Naturalmente, nel momento in cui il momento di rotazione richiesto supera un determinato valore, il sistema avvisa l'equipaggio, attivando un apposito circuito dall'allarme. Purtroppo tale sistema, a volte, risulta poco affidabile, in quanto può generare falsi allarmi nel momento in cui il disco è interessato da insetti.

- **Sistemi a filo caldo**

I sistemi a filo caldo si basano sui seguenti principi:

- la trasformazione del ghiaccio in acqua avviene a temperatura costante;
- la resistenza di un conduttore cambia con la temperatura.

Tipicamente tali impianti hanno un filo caldo esposto all'aria che è soggetto ad impulsi elettrici periodici che lo riscaldano. In assenza di ghiaccio, la resistenza del filo cambia linearmente con il tempo, in aderenza al cambiamento della temperatura del filo. Nel momento in cui il ghiaccio si accumula e fonde, l'energia elettrica fornita è usata per sciogliere il ghiaccio e non per riscaldare il filo: la temperatura del filo perciò non cambia e conseguentemente non cambia neanche la sua resistenza elettrica. Quando, alla fine, tutto il ghiaccio è fuso, la temperatura del filo e, conseguentemente, la sua resistenza elettrica iniziano a variare nuovamente. Il sistema, misurando elettronicamente l'assenza di variazione di resistenza elettrica, è in grado di avvisare l'equipaggio in merito alla presenza di ghiaccio sul velivolo, poi, una volta fornito tale avviso, la sonda è riscaldata nuovamente per permettere una successiva rilevazione.

- **Sistemi basati su speciali tubi di pitot**

Il cuore di questi sistemi è costituito da un sensore di pressione differenziale che misura la differenza di pressione dinamica riscontrabile a valle di una serie di fori, di dimensioni diverse, realizzati su di un apposito cilindro. In assenza di ghiaccio la pressione dinamica a valle di tali fori, prescindere dalle loro dimensioni, risulta bilanciata, mentre non appena si verifica la formazione di tale contaminante, in virtù dell'iniziale ostruzione dei fori piccoli, si crea uno sbilanciamento della pressione dinamica misurata e quindi il sensore è in grado di avvisare l'equipaggio in merito alla presenza di ghiaccio sul velivolo.

- **Sistemi basati sull'ostruzione di radiazione elettromagnetica**

Questo sistema è composto da una sonda ubicata tra un opportuno trasmettitore ed un ricevitore di energia elettromagnetica. Il funzionamento di tale sistema si basa sul principio secondo cui il ghiaccio accumulato sulla sonda è in grado, gradualmente, di interrompere il percorso di un raggio elettromagnetico (luce visibile, laser, infrarosso, etc.) tra il trasmettitore ed il ricevitore. Nel momento in cui l'occlusione raggiunge un certo livello, la sonda viene sghiacciata per poter permettere un nuovo ciclo di individuazione del ghiaccio.

Nelle comuni realizzazioni aeronautiche i predetti sistemi, come già accennato, sono efficacemente usati per rilevare la presenza di ghiaccio sull'aeromobile. Inoltre questi possono essere usati anche per attivare/disattivare automaticamente i sistemi di protezione del velivolo, per consentire agli equipaggi di applicare le procedure opportune per fronteggiare tale fenomeno e per segnalare la fine dell'accumulo di tale contaminante.

In verità alcuni sistemi, potenzialmente, potrebbero essere in grado di segnalare anche la quantità di ghiaccio che aderisce all'aeromobile. Tali sistemi infatti ciclicamente eliminano, grazie ad un opportuno elemento riscaldante, il ghiaccio dal sensore, una volta che questo ha raggiunto uno spessore predeterminato. In condizioni atmosferiche idonee ad una tipica formazione di ghiaccio, il tempo di sghiacciamento del sensore è praticamente trascurabile rispetto al tempo necessario per ottenere un segnale di presenza di tale contaminante e quindi la frequenza delle rilevazioni del ghiaccio potrebbe essere assunta proporzionale alla severità del fenomeno. Tuttavia, in condizioni atmosferiche caratterizzate da un alto contenuto d'acqua, il tempo di sghiacciamento potrebbe diventare non trascurabile rispetto al tempo di accumulo del ghiaccio sulla sonda e quindi, in queste condizioni, potrebbe essere più complesso stabilire una correlazione con la severità del fenomeno.

Per concludere va detto che le prime due tecnologie sono le più recenti e quelle correntemente usate, mentre tutte le altre stanno, via via, per essere abbandonate.

5.3) Sistemi per la determinazione dello spessore del ghiaccio

Questi sistemi, funzionanti sia a terra che in volo, sono concepiti per rilevare l'entità del ghiaccio che si accumula su specifiche superfici dell'aeromobile. Per ottemperare al suddetto scopo è fondamentale che i sensori ad essi

correlati abbiano un valore di E identico a quello della porzione di superficie su cui vengono collocati. Di seguito si presenteranno le caratteristiche principali dei sistemi maggiormente usati:

- **Sistemi basati su superfici oscillanti**

Il nucleo di tali impianti è costituito da membrane o diaframmi che, eccitati da trasduttori piezoelettrici, oscillano ad una frequenza ben determinata. L'accumulo di ghiaccio su tali superfici ne aumenta la rigidità e quindi la frequenza di oscillazione. Misurando, perciò, la variazione della frequenza di oscillazione di tali membrane o diaframmi è possibile dedurre la quantità di ghiaccio presente sulle sonde. L'elemento sensibile può essere installato aderente alla superficie del velivolo oppure sporgente, a similitudine delle numerose antenne montate sulla fusoliera degli aeromobili.

- **Sistemi basati su onde ultrasoniche pulsanti**

Il cuore di tali sistemi è costituito da onde ultrasoniche pulsanti, generate da trasmettitori piezoelettrici, che viaggiano attraverso il ghiaccio in una direzione parallela all'asse del trasmettitore. Quando l'impulso raggiunge la superficie aria/ghiaccio è riflesso indietro attraverso lo strato di ghiaccio ed il tempo impiegato dall'eco per tornare al trasmettitore è usato per calcolare lo spessore del ghiaccio stesso.

- **Sistemi basati su microonde**

Il nucleo di tali sistemi è costituito da una guida d'onda inserita all'interno della sonda sulla quale si forma il ghiaccio. La guida d'onda è costruita con materiale dalle stesse proprietà dielettriche del ghiaccio. Quando il ghiaccio inizia a formarsi, la frequenza di risonanza della guida d'onda comincia a diminuire in maniera proporzionale allo spessore del ghiaccio accumulato. La variazione di frequenza è misurata elettronicamente ed è usata per valutare sia il rateo di accrescimento sia lo spessore del ghiaccio.

I predetti sistemi basano il loro funzionamento su sensori di dimensioni molto contenute: perciò è opportuno sottolineare che tali impianti possono fornire indicazioni valide, sulla caratterizzazione del fenomeno 'ghiaccio', solo su limitate porzioni di superficie. Questa precisazione è fondamentale: infatti bisogna prendere atto che se una porzione di superficie aerodinamica subisce determinati accumuli di ghiaccio, non è necessariamente detto che tutto il resto della superficie debba subire le stesse formazioni.

Questi sistemi, oltre a rilevare la presenza del ghiaccio ed a caratterizzarla adeguatamente per una limitata porzione di superficie, possono essere usati anche per attivare/disattivare automaticamente i sistemi di protezione del velivolo, per consentire agli equipaggi di applicare le procedure opportune e

per segnalare la fine dell'accumulo di tale contaminante. Alcuni impianti poi, possono distinguere il ghiaccio da altri tipi di contaminanti (acqua, nevischio, etc.), mentre altri, grazie alla possibilità di poter misurare localmente lo spessore del ghiaccio, possono essere usati anche per valutare le prestazioni dei sistemi di antighiaccio/sghiacciamento di bordo.

Come già detto questi sistemi possono caratterizzare correttamente il fenomeno "ghiaccio" solo localmente: così si potrebbe pensare che dotando il velivolo di un opportuno numero di sensori potrebbe essere possibile determinare completamente, ed in ogni situazione, l'accumulo di ghiaccio sul velivolo. Oltre al fatto che, per praticità, difficoltà di installazione e costo, i costruttori aeronautici possono installare solo un numero limitato di sensori, bisogna tenere presente che in talune circostanze, anche dotando il velivolo di un buon numero di sensori, il sistema potrebbe non essere in grado di caratterizzare completamente e correttamente le varie formazioni di ghiaccio sull'aeromobile. Questa osservazione è particolarmente appropriata tenendo in considerazione che le formazioni di ghiaccio sui velivoli al suolo sono, in genere, caratterizzate da contaminazioni disomogenee dell'ala e delle altre superfici critiche³ del velivolo.

5.4) Sistemi basati sul monitoraggio delle prestazioni aerodinamiche

Tali sistemi si basano sul presupposto che le caratteristiche aerodinamiche di una superficie portante vengono modificate dal tipo, dall'estensione e dallo spessore della contaminazione che aderisce alla superficie stessa. Pertanto, tramite un continuo monitoraggio di tali caratteristiche, è concepibile ideare un sistema che sia in grado di segnalare eventuali accumuli di ghiaccio sull'aeromobile.

- **Sistemi basati sulla misura delle pressioni in punti caratteristici del profilo**

Tali sistemi rilevano la pressione totale lungo la linea di ristagno del bordo d'attacco dell'ala e quella statica in punti ben determinati ubicati sul dorso e sul ventre di tale superficie. Queste misure possono essere usate per dedurre i coefficienti di portanza (C_l) e resistenza (C_d) prodotti dall'ala stessa. Dopo aver effettuato una buona calibratura dell'impianto, per ogni assetto e configurazione, questo sistema è in grado di produrre un avviso nel momento in cui si riscontrano dei valori di C_l e C_d anomali per determinate condizioni di volo.

³ Con la locuzione "superfici critiche" si intende comprendere: le ali, tutte le superfici di comando e controllo, le eliche, le prese d'aria dei motori, lo stabilizzatore, la deriva e, nei velivoli in cui i motori sono montati posteriormente, anche la superficie superiore della fusoliera.

- **Sistemi basati sulla misura della pressione statica e del livello di turbolenza nello strato limite del profilo**

Tali sistemi si basano sul presupposto che qualunque contaminante sul bordo d'attacco provoca la formazione di turbolenza sulla superficie alare. Dopo aver effettuato una completa ed accurata calibratura del sistema in ogni configurazione operativa, questo è in grado di produrre un avviso nel momento in cui si rileva un livello anomalo di turbolenza per determinate condizioni di volo.

Purtroppo questo sistema, proprio a causa del suo principio di funzionamento, può essere attivato anche da contaminazioni diverse dal ghiaccio e quindi può generare falsi avvisi o ingenerare assuefazione che, in determinate condizioni atmosferiche, potrebbe rivelarsi non appropriata.

5.5) Sistemi basati sulla visualizzazione delle superfici

Tali sistemi consentono la visualizzazione diretta delle superfici del velivolo attraverso videocamere dedicate associate, o meno, a strumenti che siano in grado di effettuare l'analisi delle immagini. I sistemi in questione, grazie alla tecnologia all'infrarosso, sono in grado di funzionare correttamente a prescindere dal livello di luce, naturale od artificiale, disponibile. Inoltre questi sistemi hanno anche il vantaggio, non trascurabile, che possono essere usati per controllare qualunque superficie, comprese quelle non visibili dalla cabina di pilotaggio (piani di coda, prese d'aria dell'APU, prese d'aria del sistema di condizionamento, etc.).

5.6) Sistemi basati su sensori remoti

Si basano su apparecchiature aviotrasportate che permettono di identificare a distanza, e quindi in anticipo, le condizioni atmosferiche idonee alla formazione del ghiaccio. Nel momento in cui vengono individuate tali condizioni, il sistema, analizzando i parametri meteorologici, determina la severità della probabile formazione di ghiaccio e suggerisce al pilota la migliore strategia (modifica della rotta, cambio di livello di volo, etc.) per fronteggiare efficacemente tali condizioni.

Questi sistemi esistono solo a livello di ricerca e perciò, ancora, non sono operativi. Attualmente sono in prova diverse soluzioni tecnologiche basate sui seguenti strumenti:

- 1) Radar a microonde: tali strumenti sono ideali per individuare le gocce d'acqua.
- 2) Lidar: tali strumenti possono identificare sia il diametro delle gocce che il contenuto d'acqua, ma purtroppo, per funzionare in maniera ottimale,

devono usare delle frequenze pericolose per gli occhi. In aggiunta, i segnali del Lidar vengono sensibilmente attenuati dalle nubi dense che invece, sono potenzialmente molto pericolose in quanto, in genere, sono responsabili della formazione del ghiaccio moderato e/o severo.

- 3) Radiometri: tali strumenti sono in grado di misurare la temperatura all'interno di una nube ed il contenuto d'acqua.
- 4) Radar a doppia banda: tali strumenti sono in grado di identificare le condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio misurando la differente attenuazione che gli impulsi radar, trasmessi sulle due bande, subiscono.

E' convinzione diffusa che il metodo più efficace per effettuare l'identificazione remota delle condizioni atmosferiche idonee alla formazione del ghiaccio consta di un sistema integrato costituito da radar aviotrasportati, radar al suolo e satelliti.

Com'è facilmente intuibile, l'identificazione remota delle condizioni atmosferiche idonee alla formazione del ghiaccio è molto costosa, tuttavia questa tecnologia è attualmente oggetto di apprezzabili investimenti e costanti ricerche.

5.7) Sistemi specifici per l'identificazione del ghiaccio al suolo

5.7.1) Sistemi volti a determinare la necessità delle procedure di sghiacciamento/antighiaccio

In condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio, la prima preoccupazione è quella di decidere se è necessaria l'applicazione delle procedure di sghiacciamento prima del decollo.

L'ispezione tattile, quando possibile, rappresenta sempre il miglior modo per eliminare ogni dubbio in merito alla contaminazione dell'ala e per svolgere più facilmente tale compito, generalmente, in prossimità della radice alare, vengono installati i cosiddetti 'tuft' (Fig. 5.3).

Inoltre, al fine di aiutare l'equipaggio ad individuare l'eventuale ghiaccio presente sul velivolo, la tecnologia ha sviluppato svariati sensori che sono in grado di avvisare i piloti nel caso tale contaminante riesca ad accumularsi su zone particolarmente critiche della superficie alare. Va sottolineato però, che fin'ora sono stati messi a disposizione solo sensori puntuali, per cui è verosimile ritenere che, qualunque sia il loro numero, difficilmente essi possano monitorare le condizioni dell'intera superficie alare.

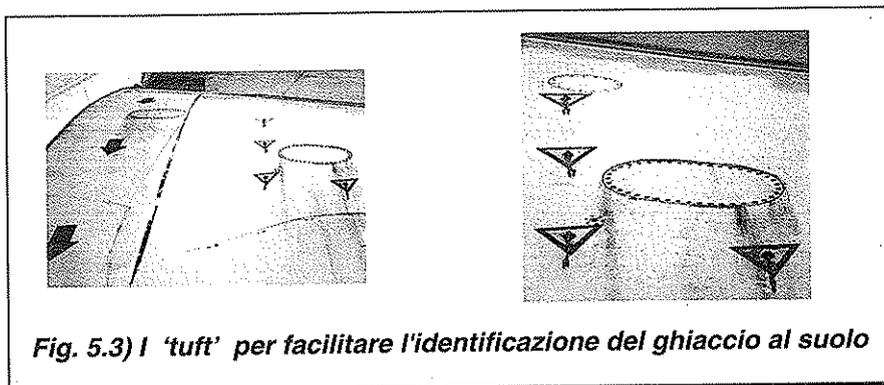


Fig. 5.3) I 'tuft' per facilitare l'identificazione del ghiaccio al suolo

Infatti, anche se un sensore è affidabile e capace di individuare qualunque tipo di contaminante (brina, neve, ghiaccio, ...) non può, in nessun modo, assicurare che l'ala, nelle immediate vicinanze del sensore stesso, abbia lo stesso livello o tipo di contaminazione.

Ciò nonostante continue sperimentazioni sono in corso per realizzare sistemi avanzati che riescano a monitorare l'intera superficie alare e, per il momento, i più promettenti sono i seguenti:

- **BFGoodrich: sistema HALO**

In tale sistema la superficie alare è usata come guida d'ultrasuoni generati e misurati da sensori annegati all'interno della superficie alare stessa. Il sistema è capace di distinguere diversi tipi di contaminanti in funzione della risposta dell'ala. D'altra parte, per monitorare tutte le zone critiche dell'ala, è necessario comunque un discreto numero di sensori (trasduttori/ricevitori). Il sistema è potenzialmente promettente, però l'elevato numero di componenti pone ancora qualche dubbio in merito all'affidabilità.

- **RVSI: sistema ID-1**

Questo sistema si basa su di una serie di telecamere installate sul velivolo, e/o al suolo, e sul relativo software, specifico, per il trattamento e l'analisi delle immagini. Questo sistema permette l'identificazione dei depositi di ghiaccio, neve, etc. su tutta la superficie dell'ala. Le informazioni sono presentate all'equipaggio grazie all'ausilio di uno schermo. Nonostante il sistema sia potenzialmente incoraggiante, la sua affidabilità deve essere verificata anche in funzione dei differenti materiali costituenti le odierne superfici alari, inoltre, anche in questo caso, sono necessarie diverse telecamere per assicurare il monitoraggio di tutte le superfici critiche.

- **BFGoodrich: analisi delle prestazioni aerodinamiche**

Questo è un sistema molto potente che, se opportunamente calibrato, è in grado di identificare qualunque contaminazione dell'ala. Esso è costituito da una serie di sensori, ognuno in grado di monitorare circa un metro di apertura alare, installati in prossimità del bordo d'uscita e il relativo software per l'elaborazione delle informazioni.

Questo sistema purtroppo, per funzionare efficacemente, richiede una velocità minima dell'aria e pertanto può iniziare a fornire indicazioni valide a partire dalla fase iniziale del decollo. Durante tale fase, prima del raggiungimento della V_1 , se i sensori rilevano una qualsiasi contaminazione dell'ala, viene immediatamente trasmesso un segnale di allarme in cabina di pilotaggio per permettere all'equipaggio di eseguire tempestivamente le azioni più appropriate. Anche questo sistema è potenzialmente molto allettante, tuttavia, affinché le informazioni forniscano indicazioni attendibili, necessita di una complessa taratura e comunque, anche in questo caso, è necessario un discreto numero di sensori per assicurare il monitoraggio di tutte le superfici critiche.

5.7.2) Sistemi volti a controllare l'efficacia dei fluidi protettivi

Nel momento in cui la durata della protezione fornita dal fluido antighiaccio risulta scaduta (come si vedrà in seguito tale durata è denominata 'Holdover Time' e viene indicata in apposite tabelle dette 'Holdover Time Tables', presentate in appendice) o comunque quando, in base all'intensità della precipitazione, l'equipaggio nutre dei dubbi in merito all'efficacia del fluido protettivo, è necessario effettuare un controllo tattile delle superfici critiche oppure è indispensabile coordinare un nuovo trattamento di sghiacciamento/antighiaccio. Anche nel caso in cui si decida di eseguire l'ispezione tattile è abbastanza intuitivo immaginare i disagi e le difficoltà che una simile procedura comporta nel momento in cui essa viene richiesta in un affollato 'hub' europeo; pertanto, invece di basarsi unicamente sul tempo, risulterebbe conveniente realizzare un sistema affidabile che consenta di valutare istante per istante la reale efficacia del fluido protettivo. Tale sistema:

- Aiuterebbe l'equipaggio a prendere le decisioni corrette.
- Eviterebbe di effettuare trattamenti antighiaccio inutili.
- Diminuirebbe lo spreco di fluido e conseguentemente la contaminazione delle piste.
- Migliorerebbe l'impatto ecologico.

A tal proposito, alcuni ricercatori hanno concentrato i loro studi proprio per realizzare sistemi dedicati che permettano di monitorare

costantemente la reale efficacia del fluido protettivo. Tali sistemi basano la loro funzionalità sull'uso di sensori 'puntuali' ed annegati all'interno delle superfici da controllare. I sistemi, al momento, oggetto di maggiori ricerche sono i seguenti:

- **Sistemi basati sull'effetto 'Peltier'**

La temperatura di congelamento della miscela fluido/acqua dipende dalla percentuale d'acqua presente in tale miscela (tanto maggiore è la quantità d'acqua e tanto più la temperatura di congelamento della miscela si avvicina allo 0°C). La superficie del sensore, generalmente una membrana vibrante, viene raffreddata con un dispositivo che sfrutta l'effetto 'Peltier' (tale dispositivo si raffredda quando è alimentato elettricamente) fino ad ottenere la formazione di ghiaccio sulla superficie. La temperatura a cui si verifica il fenomeno di congelamento viene rilevata e quindi confrontata con quella ambiente. Nel momento in cui tale temperatura risulta troppo vicina a quella ambiente il sistema invia al pilota un opportuno segnale di allarme.

- **Sistemi basati su onde ad ultrasuoni**

La miscela acqua/fluido, nel momento in cui viene attraversata da onde ad ultrasuoni, fornisce, in funzione della percentuale d'acqua presente in tale miscela, varie segnature elettromagnetiche. Inoltre, per un determinato fluido antighiaccio, in funzione della temperatura ambiente, è possibile ricavare qual è la percentuale d'acqua che causa il congelamento della miscela. Conseguentemente, in funzione della temperatura esterna e della segnatura elettromagnetica della miscela acqua/fluido, il sistema è in grado di inviare un segnale d'allarme nel momento in cui la quantità d'acqua è tale da rendere la miscela acqua/fluido a rischio di congelamento.

Come accennato, i predetti sistemi sono tuttora allo stadio di ricerca e sono ancora molto lontani dal poter essere certificati come sistemi primari di identificazione del ghiaccio. Una delle difficoltà ancora da superare è che, a causa delle diverse caratteristiche di scorrimento dei vari fluidi antighiaccio, la perdita di efficacia della miscela può avvenire in punti diversi dell'ala. Inoltre, prendendo atto che raramente è possibile distribuire il fluido lungo le superfici dell'aeromobile in maniera omogenea, si comprende che la posizione del sensore influenza sensibilmente l'efficacia di tutto il sistema.

5.8) Sistemi miscelanei

L'elenco, fatto finora, dei sistemi che segnalano al pilota eventuali formazioni di ghiaccio non è esaustivo. Esistono, in effetti, altri svariati sistemi che, se

opportunosamente validati, possono essere installati; quelli maggiormente usati sono i seguenti:

- Sistemi basati sul 'Buffer' aerodinamico dell'ala.
- Sistemi basati sulle vibrazioni della barra di comando.
- Sistemi basati sull'accrescimento del ghiaccio in corrispondenza del bordo d'attacco.
- Sistemi basati sul rumore dovuto al distacco del ghiaccio. Questo sistema è valido principalmente per le eliche. Il ghiaccio, naturalmente, tende a separarsi dalle superfici rotanti a causa delle forze centrifughe. Così il rumore caratteristico, provocato dal ghiaccio che staccandosi va ad impattare la fusoliera, può essere usato per evidenziare la presenza di condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di tale contaminazione. In effetti la tonalità e l'intensità di tale rumore possono anche essere usati per indicare il buon funzionamento dei sistemi di sghiacciamento delle pale delle eliche. Infatti se il sistema di protezione dell'elica è spento o in avaria i pezzi di ghiaccio che si staccano dalle pale sono, in generale, più grossi e quindi riescono a produrre un rumore maggiore e di differente tonalità.
- Sistemi basati sullo sbilanciamento dell'elica.

5.9) Sommario dei sistemi per l'individuazione del ghiaccio

Metodo	Tecnologie tipiche	Classificazione	Stato
Misura del differenziale di pressione	Serie di sensori di pressione	Identificazione della formazione del ghiaccio	In via di abbandono
Sistemi basati sulla ostruzione	Interruzione di energia elettromagnetica. Sistemi basati su spatole o dischi ruotanti	Identificazione della formazione del ghiaccio	In via di abbandono
Elementi o superfici oscillanti/vibranti	Piezoelettrico. Magnetostrittivo	Identificazione della formazione, dello spessore e del rateo di accrescimento del ghiaccio	La tecnologia più usata
Misura del calore latente	Impulsi elettrici periodici. Misure di potenza	Identificazione della formazione del ghiaccio	In via di abbandono
Sistemi basati su microonde	Guida d'onda con stesse proprietà dielettriche del ghiaccio	Identificazione della formazione, dello spessore e del rateo di accrescimento del ghiaccio	In via di sviluppo
Sistemi basati sulla visualizzazione delle superfici	Sorgente EM (luce visibile, infrarosso, laser)	Identificazione della formazione del ghiaccio	In via di sviluppo
Sistemi basati su onde ultrasoniche pulsanti	Trasduttori piezoelettrici	Identificazione della formazione, dello spessore e del rateo di accrescimento del ghiaccio	In via di sviluppo
Sistemi basati su sensori remoti	Radar di bordo, radar al suolo, satelliti	Identificazione a distanza delle condizioni atmosferiche idonee alla formazione del ghiaccio	In via di sviluppo

5.10) La FAR/JAR 25, Appendice C e la problematica del volo in 'severe icing conditions'

La FAR/JAR 25, Appendice C, detta le norme che i costruttori devono seguire per far sì che i velivoli possano operare in 'icing conditions'. Conseguentemente nessun velivolo è progettato per poter volare in sicurezza in condizioni peggiori di quelle previste da tale appendice (diametro delle gocce oltre 50 micron, presenza di SLD, etc). In altri termini nessun velivolo è certificato per operare ordinariamente in 'severe icing conditions' ovvero in condizioni atmosferiche ove siano presenti SLD; perciò, nel caso in cui il velivolo si trovi, accidentalmente, a volare in tali condizioni, i piloti devono, al più presto, allontanarsi da tale spazio aereo. Per aiutare gli equipaggi in tale compito, le ditte costruttrici hanno fornito delle indicazioni per poter univocamente determinare le condizioni atmosferiche in grado di provocare 'severe icing'. Esse sono:

- Formazione di ghiaccio in zone dove normalmente il ghiaccio non si accumula (ad es. per l'ATR finestrini laterali).
- Accumulo di ghiaccio dietro la zona protetta della superficie alare.
- Formazione di ghiaccio sull'ogiva dell'elica in zone molto arretrate.
- Accumulo di ghiaccio sulle gondole motori in zone non usuali.

In aggiunta a tutto ciò, altri indizi per sospettare ragionevolmente della presenza di SLD sono:

- Presenza d'acqua sul blindovetro ad OAT negative.
- Pioggia visibile ad OAT negative.

Perciò se l'equipaggio, durante il volo in 'icing conditions', dovesse individuare uno, o più, dei predetti indizi, è fondamentale che, in accordo con quanto previsto dal manuale del velivolo, abbandoni al più presto possibile l'area perturbata.

6) I SISTEMI PER LA PROTEZIONE DAL GHIACCIO

I sistemi per la protezione dal ghiaccio sono usati per salvaguardare le superfici critiche del velivolo (superfici portanti, prese d'aria motore, sonde per i dati aria, blindovetri, etc.) dalle formazioni di tale contaminante sia in volo che al suolo. La principale classificazione di tali sistemi è la seguente:

- sistemi di sghiacciamento ('*de-icing systems*');
- sistemi antighiaccio ('*anti-icing systems*').

Scopo principale dei sistemi di sghiacciamento è quello di rimuovere il ghiaccio dalle superfici contaminate; tali sistemi quindi, possono essere attivati anche dopo la concreta formazione di tale contaminante sul velivolo.

Scopo principale dei sistemi antighiaccio invece, è quello di prevenire ed impedire il reale accumulo di ghiaccio sulle superfici critiche del velivolo; questi sistemi quindi, vengono attivati prima, o al più subito dopo, dell'incontro di condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di tale contaminante.

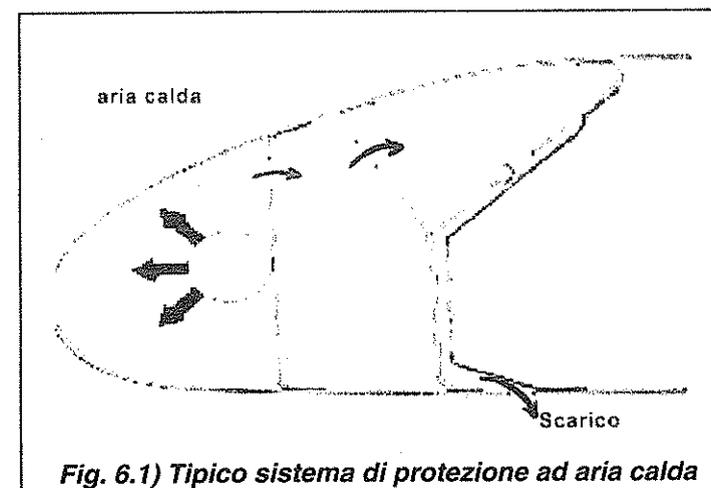
Diversi sistemi esistono per proteggere il velivolo da eventuali formazioni di ghiaccio; quelli più usati sono i seguenti:

- Sistemi ad aria calda
- Sistemi elettro-termici
- Sistemi pneumatici
- Sistemi basati sull'applicazione di fluidi protettivi
- Sistemi ad impulsi pneumatici (PIIP)
- Sistemi elettro-impulsivi (EIDI)
- Sistemi elettro-espulsivi (EEDI).

6.1) Sistemi ad aria calda

6.1.1) Generalità

Questo tipo di sistemi (Fig. 6.1) usa aria calda, estratta dal motore, per riscaldare la superficie dell'ala bagnata dalle gocce d'acqua al fine di impedirne il loro congelamento ('*anti-icing running wet*'), oppure al fine di farle evaporare ('*anti-icing evaporative*') o, ancora, al fine di rimuovere il ghiaccio una volta formato ('*de-icing*').



Tali sistemi basano il loro funzionamento su di un flusso d'aria, regolato in pressione e temperatura, proveniente dal motore ed indirizzato, tramite opportuni condotti, all'interno di un '*piccolo tube*' che si estende, internamente, lungo tutto il bordo d'attacco alare. L'aria poi, grazie ad opportuni ugelli, viene diffusa verso la superficie interna del bordo d'attacco, lo riscalda, e quindi viene scaricata all'esterno. Il sistema normalmente è usato come '*anti-icing system*' sia di tipo '*evaporative*' che di tipo '*running wet*'.

Questo tipo di impianto è molto affidabile, tuttavia occorre evidenziare che necessita, per il suo corretto funzionamento, di una grande quantità di aria calda, specialmente per gli '*anti-icing system*' di tipo totalmente '*evaporative*'. Ciò provoca una discreta perdita di prestazioni da parte del motore, un aumento dei consumi di combustibile ed, in ultima analisi, un'apprezzabile riduzione delle prestazioni globali del velivolo. Inoltre l'uso di aria calda spillata dai motori, ostacola l'impiego di materiali compositi sul bordo d'attacco e su alcune altre parti della struttura alare.

Si noti infine, che con l'introduzione dei motori a getto ad alto rapporto di diluizione, sta diventando sempre più difficile avere quantitativi d'aria calda sufficienti per far funzionare tali sistemi in modalità '*anti-icing*' di tipo '*evaporative*' o di tipo '*running wet*'. Pertanto, recentemente, i sistemi in questione vengono progettati, sempre più frequentemente, per funzionare in modalità '*de-icing*' anziché '*anti-icing*' oppure vengono disegnati in modo che l'aria, alla fonte, sia prelevata a temperatura molto elevata (nelle passate realizzazioni l'aria veniva spillata intorno ai 200°C, nelle realizzazioni più recenti la temperatura può raggiungere anche i 400°C). Quest'ultima soluzione tuttavia, implica la necessità di utilizzare

materiali particolarmente resistenti sia per i condotti interni che per il bordo d'attacco alare.

6.1.2) Peculiarità di funzionamento

Come già accennato, tali sistemi basano il loro funzionamento su flussi d'aria calda che, alla sorgente, possono superare anche i 200°C. Quindi, a causa delle alte temperature, l'attivazione di questi impianti, al suolo, può provocare seri danni al rivestimento interno dell'ala; per impedire che ciò accada i costruttori ne inibiscono il funzionamento a terra o consentono la loro attivazione solo nel momento in cui il velivolo è in volo.

Naturalmente le necessarie operazioni di calibratura e/o controllo, svolte al suolo, vengono effettuate usando aria a temperatura ambiente ad alta pressione.

In genere l'attivazione di tali apparati è molto semplice: normalmente ciò avviene tramite un semplice interruttore, del tipo ON/OFF, e, in talune realizzazioni, grazie all'apertura manuale, od automatica, di opportune valvole dell'impianto pneumatico.

In volo, il buon funzionamento del sistema può essere verificato da semplici 'advisory caption', e dalle variazioni dei valori di EPR o N1 dovute al maggiore spillamento d'aria a carico dei motori; inoltre altre spie, riguardanti temperature e/o pressioni anomale dell'impianto, avvisano l'equipaggio circa eventuali malfunzionamenti del sistema.

A causa delle elevate richieste pneumatiche dei sistemi di protezione ad aria calda, il livello di pressione normalmente usato per il sistema di condizionamento, spesso, non è sufficiente a garantire il funzionamento anche di tali impianti; conseguentemente, quando il sistema di protezione viene attivato, la maggiore richiesta d'aria è soddisfatta grazie all'apertura di valvole di spillamento supplementari ubicate, normalmente, in corrispondenza del compressore di alta pressione.

6.2) Sistemi elettro-termici

6.2.1) Generalità

I sistemi elettro-termici (Fig. 6.2) usano resistenze elettriche annegate od applicate all'interno delle superfici critiche del velivolo per prevenire il congelamento dell'acqua che colpisce l'aeromobile ('anti-icing') o per fondere e quindi staccare il ghiaccio già formato ('de-icing'). Le resistenze possono essere costituite da conduttori elettrici annegati all'interno della superficie alare o anche da materiali compositi conduttivi, da speciali vernici metalliche o, più semplicemente, da fogli metallici applicati direttamente sulle superfici da proteggere.

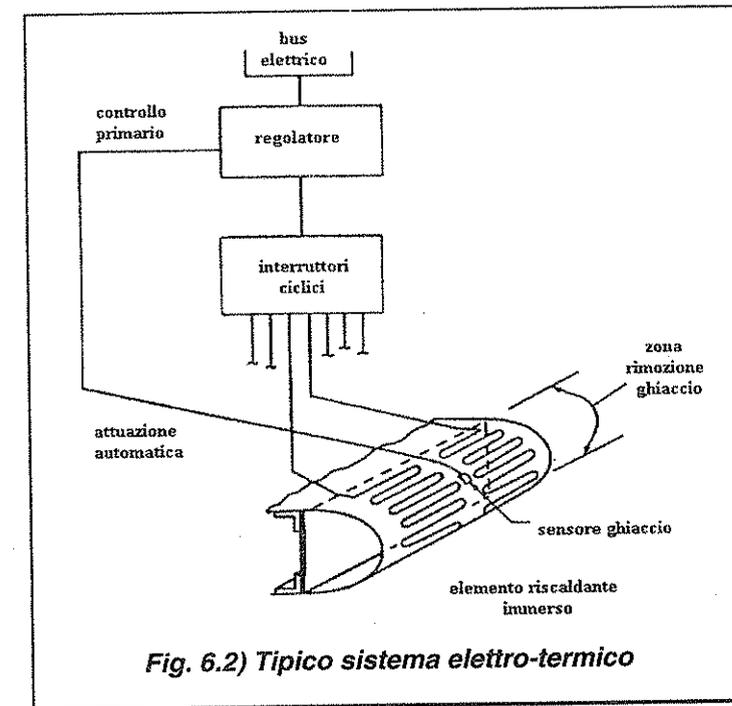


Fig. 6.2) Tipico sistema elettro-termico

A causa dell'elevata potenza elettrica richiesta per il funzionamento di tali apparati (circa 10 - 12 watt/in²), il loro uso, generalmente, è limitato ad aree in cui gli altri sistemi di protezione non sono applicabili (blindovetri, sonde pitot-statiche, condotti di drenaggio, prese d'aria, eliche, rotori di elicottero, etc.). Inoltre per ridurre il requisito di potenza elettrica, spesso, i velivoli con estese superfici da proteggere utilizzano questo sistema in modalità 'de-icing' nella seguente maniera: le zone in corrispondenza dei punti di ristagno vengono riscaldate con continuità, mentre quelle dietro tali punti vengono riscaldate ciclicamente.

6.2.2) Peculiarità di funzionamento

Tali sistemi possono essere concepiti per funzionare sia in modalità 'anti-icing' che in modalità 'de-icing'. Il sistema utilizzato in modalità 'anti-icing' deve essere attivato nel momento in cui l'equipaggio pensa di attraversare un'area in cui sono possibili formazioni di ghiaccio o, al più tardi, non appena è possibile riscontrare i primi accumuli di tale contaminante; invece, nel momento in cui tale sistema è utilizzato in modalità 'de-icing', l'equipaggio, prima di attivarlo, deve attendere che il ghiaccio si sia concretamente formato attorno alle superfici da sghiacciare.

Per controllare il buon funzionamento del sistema, prima del volo, l'equipaggio, in genere, ha a disposizione delle spie dedicate; in altre realizzazioni invece, è richiesto semplicemente di verificare la variazione del carico elettrico per avere la garanzia che l'impianto di protezione elettro-termico operi correttamente. E' opportuno sottolineare ulteriormente che tali sistemi assorbono molta energia elettrica quindi, quando non richiesti, è buona norma tenerli disattivati; inoltre, tale pratica, potrebbe evitare, nel momento in cui il velivolo è al suolo, indebite scottature al personale tecnico o di terra che opera attorno all'aeromobile durante le normali operazioni pre o post-volo.

In volo il pilota, in genere, ha la possibilità di armare il sistema o di metterlo in funzione manualmente. E' buona norma armare il sistema, tipicamente, quando la temperatura esterna scende al di sotto dei 4°C ed il velivolo si trova ad operare in condizioni meteorologiche idonee alla formazione di ghiaccio; in tali condizioni, una volta armato, il sistema inizierà ad operare non appena saranno rilevati i primi accumuli di ghiaccio. In modalità manuale è possibile intervenire prima che il ghiaccio concretamente aderisca al velivolo, tuttavia, in tal caso, aumentano notevolmente i rischi di indebito surriscaldamento delle superfici interessate se l'equipaggio non presta la dovuta attenzione alle variazioni di RAT.

6.3) Sistemi pneumatici

6.3.1) Generalità

I sistemi di sghiacciamento pneumatici (Fig. 6.3) rimuovono il ghiaccio grazie all'alternativo gonfiamento e sgonfiamento di una serie di intercapedini di gomma ('boot') applicate sulle superfici da proteggere. Il gonfiamento istantaneo di tali intercapedini stacca il ghiaccio dalle superfici interessate, poi le forze aerodinamiche provvedono ad allontanare tale contaminante dal velivolo. Per operare correttamente, il sistema necessita di un limitato flusso d'aria, prelevato dai motori, che viene, tipicamente, erogato con una pressione di circa 18 - 20 psig; inoltre una pompa a vuoto provvede a tenere i 'boot' pneumatici perfettamente aderenti alle superfici aerodinamiche nel momento in cui il sistema non è attivo.

I sistemi di protezione pneumatici, sviluppati già nel 1930, possono essere sicuramente annoverati tra i sistemi maggiormente utilizzati per combattere la formazione di ghiaccio; in effetti tali impianti hanno un notevole vantaggio: richiedono livelli molto bassi di potenza per il loro corretto funzionamento, per di più questi, basandosi su tecnologia molto consolidata, sono ormai ritenuti, quando usati propriamente, estremamente affidabili. D'altra parte è opportuno puntualizzare che i

'boot' pneumatici non sono appropriati per i velivoli ad alte prestazioni in quanto tali sistemi, date le odierne velocità di crociera, sono soggetti a frequenti danneggiamenti esterni, inoltre va specificato che, a basse temperature atmosferiche (al di sotto di -15°C, -20°C), le prestazioni del sistema diminuiscono in quanto i 'boot' diventano meno flessibili.

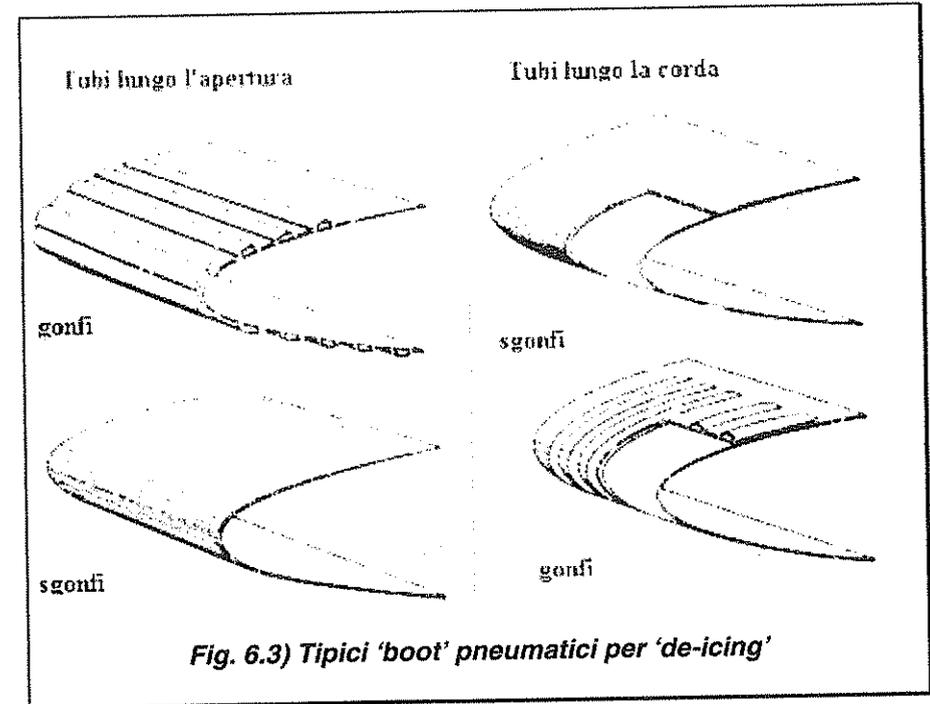


Fig. 6.3) Tipici 'boot' pneumatici per 'de-icing'

Un altro problema che sembra essere annoverato a carico di questi tipi di sistemi è il cosiddetto 'bridging'. Tale fenomeno si suppone che possa essere causato da una anticipata attivazione dei 'boot' pneumatici, allorché il ghiaccio, ancora sotto forma di sottilissimi strati, è in grado di flettersi, seguendo il ciclo di gonfiamento/sgonfiamento delle intercapedini. Questa flessione consente a tale contaminante non solo di rimanere attaccato all'ala, ma di solidificare: in tale maniera il piccolo 'ponte' (da qui la denominazione di 'bridging') di ghiaccio, così formatosi, rende vani i successivi cicli di funzionamento dei 'boot' pneumatici e favorisce l'ulteriore accrescimento di tale contaminante proprio sul ponte stesso.

In realtà, negli anni più recenti, nessun equipaggio ha mai riportato il verificarsi del fenomeno in questione, così si suppone che il 'bridging' fosse possibile solo con i 'boot' di vecchia concezione, i quali, in vero, erano caratterizzati da una bassa pressione di funzionamento. In ogni caso, proprio per evitare questo fenomeno, alcuni piloti, pur volando

aeromobili moderni, hanno ancora la tendenza a ritardare l'attivazione dei sistemi di sghiacciamento pneumatici, almeno fino a quando non sia chiaramente percepibile un certo accumulo di ghiaccio sulle superfici protette del velivolo.

Va enfatizzato tuttavia che quest'abitudine, soprattutto con i 'boot' moderni, può avere solo conseguenze negative: infatti, mentre l'attivazione anticipata può provocare tutt'al più un leggero aumento del ghiaccio residuo (che in ogni caso scompare dopo 2-3 cicli di attivazione del sistema stesso), l'attivazione ritardata dei 'boot' deve purtroppo essere ancora annoverata tra le cause che hanno provocato, anche recentemente, incidenti fatali.

In ogni caso, ancora una volta, si raccomanda di attenersi scrupolosamente alle indicazioni del manuale di volo sull'utilizzo di tali sistemi.

La grande affidabilità ed i limitati flussi d'aria in gioco fanno dei sistemi di sghiacciamento pneumatici l'installazione ideale, contro la formazione di ghiaccio, per i velivoli di piccole dimensioni. In effetti i velivoli turboelica o a pistoni, spesso, sono equipaggiati con tali sistemi per la protezione delle superfici aerodinamiche critiche, mentre i sistemi ad aria calda od elettro-termici proteggono solo le prese d'aria del motore.

In estrema sintesi, sebbene i sistemi pneumatici abbiano una serie di controindicazioni, rimangono, ancora oggi, i metodi di protezione più efficaci per i velivoli che non dispongono di esuberanti flussi di aria calda.

6.3.2) Peculiarità di funzionamento

I 'boot' pneumatici, come già accennato, possono ritenersi, in generale, molto affidabili e, quando impiegati correttamente, non hanno mai mostrato problemi significativi. Tuttavia un inconveniente frequentemente riportato è il formarsi di piccoli fori, non visibili ad occhio nudo, sulle intercapedini di gomma. L'acqua così, attraversando questi fori, può penetrare all'interno dei 'boot', causare il congelamento delle valvole di distribuzione d'aria ed, in definitiva, l'avaria parziale o totale del sistema stesso. Le avarie sono diminuite considerevolmente con l'introduzione di adeguati sistemi di aspirazione d'acqua e con l'introduzione di un impianto di riscaldamento alle valvole di distribuzione.

Un altro inconveniente è dovuto al fatto che, nel momento in cui si opera in condizioni atmosferiche idonee alla formazione di ghiaccio, bisogna anche tenere conto di una limitata perdita di prestazioni aerodinamiche del velivolo dovuta ai cicli di gonfiamento connessi al normale funzionamento di tali sistemi, o, in ogni caso, ad un limitato quantitativo di ghiaccio residuo che, per questi sistemi, è sempre possibile.

Infine, va anche ricordato che operare i 'boot' pneumatici a temperature ambiente inferiori ai -40°C può causare danni permanenti a tali impianti.

Tra i vantaggi di tali sistemi c'è sicuramente quello di essere compatibili con l'uso di speciali fluidi anti-adesivi. Infatti, nel momento in cui si prevede che il velivolo debba operare in condizioni atmosferiche idonee alla formazione di ghiaccio, è possibile applicare questi 'spray' sulle intercapedini di gomma in maniera tale che, diminuendo l'adesione del ghiaccio al bordo d'attacco dell'ala, l'attivazione dei sistemi pneumatici produca la massima efficacia. D'altro canto occorre tener presente che gli 'spray' di cui sopra vengono gradualmente erosi durante il volo e che, pertanto, la loro efficacia risulta limitata a circa 50-150 ore di volo.

Infine si raccomanda sempre, in accordo con le indicazioni riportate sul manuale del velivolo, di effettuare un controllo pre-volo dei sistemi di sghiacciamento pneumatici. In effetti, poiché a tutt'oggi è difficile prevedere con certezza quando e dove sia possibile incontrare condizioni atmosferiche idonee alla formazione di ghiaccio, il pilota non dovrebbe iniziare il volo se riscontrasse che il sistema di sghiacciamento del proprio velivolo fosse parzialmente o totalmente inefficiente.

6.4) Sistemi basati sull'applicazione di fluidi protettivi

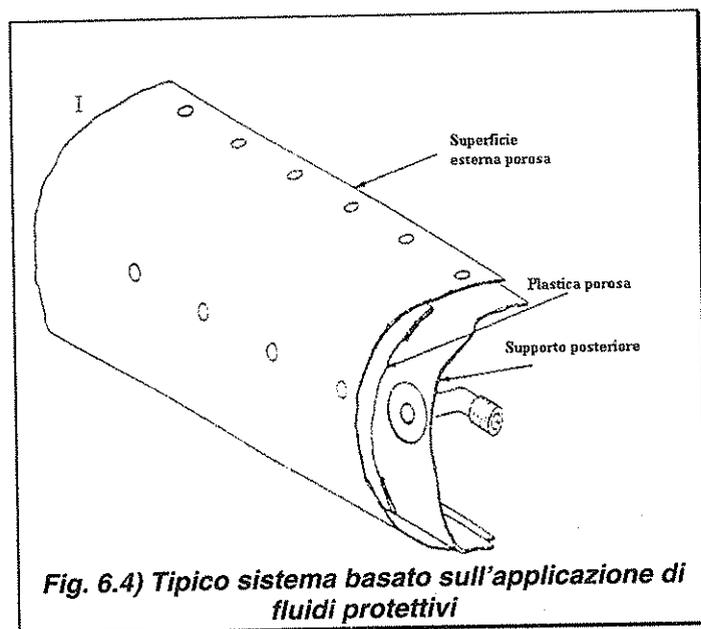
6.4.1) Generalità

Questi sistemi, usati efficacemente sia come 'de-icing' che come 'anti-icing', si basano sull'applicazione di specifici fluidi, a base di glycol, sulle superfici da proteggere in modo da abbassare la temperatura di congelamento dell'acqua che colpisce tali superfici: per questo motivo questi fluidi vengono denominati 'freezing point depressant (FPD) fluids'.

Tali sistemi, tipicamente, consistono in un serbatoio per contenere il fluido protettivo, dei filtri ed un certo numero di deviatori per distribuire il fluido nelle zone in cui è richiesto. Poi, grazie ad opportuni fori effettuati sul rivestimento esterno delle superfici da proteggere, il fluido viene cosparso uniformemente su tali superfici (Fig. 6.4).

I vantaggi di questi sistemi sono quelli di essere relativamente semplici e di fondarsi su una tecnologia ben consolidata, mentre, tra gli svantaggi, vanno sicuramente ricordati un certo aumento di peso e la limitata autonomia, entrambi legati al quantitativo di fluido trasportato.

Infine è opportuno sottolineare che l'installazione di tali sistemi, specialmente negli ultimi anni, è stata effettuata, praticamente, solo su velivoli leggeri e di piccole dimensioni.



6.4.2) Peculiarità di funzionamento

Nel caso in cui si preveda che una parte del volo debba essere condotta in condizioni meteorologiche idonee alla formazione del ghiaccio, è buona norma attivare il sistema già al suolo, durante le operazioni pre-volo: tale procedura consentirà di verificare che il fluido sia uniformemente distribuito su tutte le superfici da proteggere e servirà ad avere il sistema pronto per una successiva attivazione.

Una volta in volo invece, è opportuno attivare il sistema immediatamente prima o subito dopo la reale constatazione di un certo accumulo di contaminante sul velivolo. Pertanto il pilota, in tali condizioni atmosferiche, deve prestare particolare attenzione alle sonde visive montate sul velivolo o ad eventuali sensori appositamente installati per l'individuazione del ghiaccio. Tra i vari comandi, tipicamente associati a questi sistemi, è opportuno sottolineare quello che consente al pilota di aumentare manualmente la portata del fluido protettivo: la portata va sicuramente aumentata nel caso di 'severe icing' o per rimuovere una grossa quantità di ghiaccio formatasi a causa di una ritardata attivazione del sistema.

6.5) Sistemi ad impulsi pneumatici (PIIP)

6.5.1) Generalità

Questo sistema, sperimentato dalla B F Goodrich, consiste in un miglioramento dei classici sistemi pneumatici enunciati in precedenza. In particolare il sistema è stato sviluppato per conseguire i seguenti obiettivi:

- ridurre le penalizzazioni, in termini di prestazioni, causate dai cicli di gonfiamento/sgonfiamento dei 'boot';
- migliorare l'efficacia del sistema contro la contaminazione provocata dal ghiaccio sottile;
- avere un sistema maggiormente resistente ai consueti danneggiamenti riscontrabili sulle intercapedini di gomma.

Il sistema è costituito da un compressore, idraulicamente od elettricamente alimentato, che genera aria ad alta pressione; poi, un apposito 'controller' ha il compito di dirigere tale impulso pneumatico verso una serie di valvole installate su opportune intercapedini di gomma ubicate lungo le superfici da proteggere. Le intercapedini, a loro volta, sono ricoperte da sottilissime superfici metalliche o termoplastiche in modo da rendere tutto il sistema immune dal danneggiamento o dalla normale erosione.

Nel momento in cui il pilota decide di attivare il sistema, l'impulso pneumatico ad alta pressione, generato dal compressore, gonfia i 'boot' che conseguentemente flettono le superfici esterne, metalliche o termoplastiche, che li ricoprono. Nonostante la flessione sia alquanto contenuta (circa 1 mm), l'accelerazione, con cui avviene tale movimento, è così violenta da riuscire ad eliminare efficacemente il ghiaccio che eventualmente si fosse accumulato sulle superfici protette.

Come i precedenti impianti pneumatici, anche questo sistema richiede una potenza limitata per un efficace funzionamento, d'altro canto esso è ancora in fase sperimentale e la sua applicazione operativa potrebbe presentare ancora dei problemi significativi: basti pensare all'elevato numero di valvole (una ogni 3 mq circa di superficie da proteggere) che gli ingegneri stimano di dovere installare per permettere a tale sistema di funzionare efficacemente.

6.5.2) Peculiarità di funzionamento

A similitudine dei sistemi pneumatici precedentemente esaminati, anche per questo impianto, è buona norma effettuare un controllo pre-volo per verificare il buon funzionamento di tutto il sistema. Il sistema ha un ampio inviluppo di funzionamento, tanto che può essere operato a temperature

esterne comprese tra $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $74\text{ }^{\circ}\text{C}$; inoltre, nel momento in cui l'equipaggio stima di dover operare in condizioni idonee alla formazione di ghiaccio o sa di dover attraversare una zona all'interno della quale altri piloti hanno riportato concretamente delle formazioni di tale contaminante, è raccomandabile lasciare operare il sistema in modalità automatica. In tale modalità l'impianto effettua dei cicli predeterminati, tipicamente di un minuto, fino a quando il sistema è posto su OFF. Naturalmente esiste anche una modalità manuale: in questo modo il sistema effettua un solo ciclo su richiesta. Infine si ritiene interessante puntualizzare che per il funzionamento di questo impianto non sono richiesti né uno spessore minimo, né uno massimo di ghiaccio; inoltre, con tale sistema, non è previsto l'utilizzo di alcun prodotto anti-adesione per migliorare l'efficacia della capacità di sghiacciamento.

6.6) Sistemi elettro-impulsivi (EIDI)

6.6.1) Generalità

I sistemi elettro-impulsivi (EIDI) consistono in una serie di bobine fissate su di un supporto rigido (tipicamente sul longherone o su di una trave appoggiata su due centine) all'interno delle superfici aerodinamiche da proteggere. Tali superfici non sono a diretto contatto con le bobine, ma un sottile strato d'aria è presente tra le bobine stesse e le superfici del velivolo (Fig. 6.5).

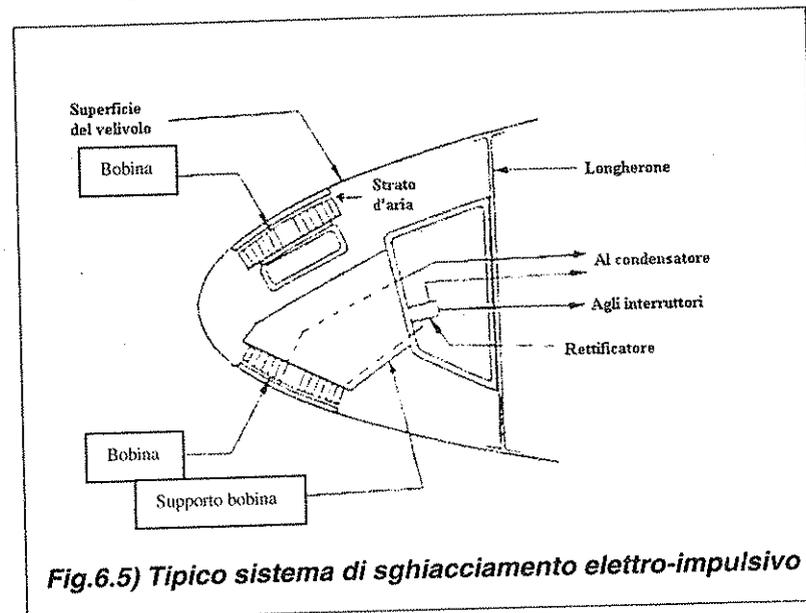


Fig.6.5) Tipico sistema di sghiacciamento elettro-impulsivo

Nel momento in cui l'equipaggio attiva il sistema, un impulso elettrico ad alto voltaggio, da 800 a 1,500 volt, viene scaricato sulla bobina: ciò provoca, solo per un attimo, un forte campo elettromagnetico in grado di indurre delle apprezzabili correnti parassite all'interno delle superfici aerodinamiche da proteggere. Conseguentemente tali correnti e il campo elettromagnetico della bobina creano delle forze respingenti in grado di muovere violentemente le superfici interessate provocando così, il distacco del ghiaccio e quindi lo sghiacciamento del velivolo.

Oltre che da un adeguato numero di bobine, il sistema è composto, essenzialmente, da un'opportuna unità di potenza, da un condensatore e da un'unità di controllo.

I sistemi elettro-impulsivi sono impianti molto interessanti, soprattutto per il contenuto requisito di potenza elettrica necessaria per il loro buon funzionamento (2 o 3 Kw per un velivolo della classe A320); nonostante ciò, questi al momento risultano installati e funzionanti solo su di un certo numero di velivoli sovietici; in verità, anche molte compagnie europee ed americane hanno mostrato vivo interesse per un loro possibile impiego. Allo stato attuale tuttavia, non risulta che tali sistemi siano stati ancora messi in produzione nel mondo occidentale.

6.6.2) Peculiarità di funzionamento

Per verificare al suolo l'efficienza del sistema si può semplicemente appoggiare la mano sulle superfici interessate nel momento in cui l'unità di controllo fornisce energia alle varie bobine: se il sistema funziona correttamente sarà possibile percepire delle vibrazioni; in caso contrario le bobine e/o una parte del sistema risulteranno inefficienti. Inoltre a bordo l'equipaggio dispone d'un piccolo oscilloscopio che, insieme ad un opportuno sistema di monitoraggio, costituisce l'equipaggiamento necessario per controllare costantemente le prestazioni del sistema.

6.7) Sistemi elettro-espulsivi (EEDI)

6.7.1) Generalità

Nel tentativo di produrre sistemi antighiaccio con richieste di potenze via via più contenute, la NASA fu il primo ente a realizzare il primo prototipo di un sistema di sghiacciamento elettro-espulsivo (Fig. 6.6).

Questo sistema è costituito da uno strato di poliuretano speciale all'interno del quale si trovano due conduttori di rame paralleli; poi, la superficie inferiore del poliuretano è fissata su di un supporto rigido, mentre quella superiore è a contatto con la superficie interna del velivolo. Nel momento in cui l'equipaggio attiva il sistema, i conduttori vengono attraversati da correnti elettriche in modo da generare campi magnetici opposti che, causando una forte accelerazione della superficie superiore

dello strato di poliuretano, provocano il distacco del ghiaccio e quindi lo sghiacciamento del velivolo.

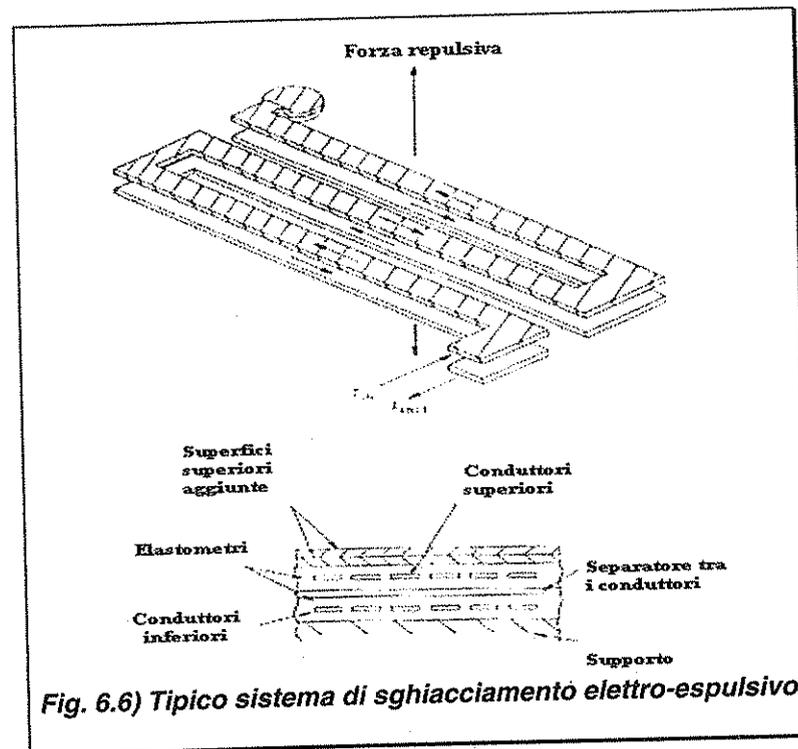


Fig. 6.6) Tipico sistema di sghiacciamento elettro-espulsivo

Gli elementi di poliuretano sono tipicamente costituiti da segmenti lunghi e stretti: per proteggere opportunamente la superficie richiesta essi vengono poi assemblati convenientemente.

6.7.2) Peculiarità di funzionamento

A similitudine dei sistemi precedentemente esaminati, anche per questo impianto, è buona norma effettuare un controllo pre-volo per verificare il buon funzionamento di tutto il sistema. Tale test può essere effettuato in due modi: il primo, grazie alla modalità di self-test, il secondo appoggiando la mano sulle superfici interessate ed assicurandosi che siano presenti delle vibrazioni quando il sistema è attivato. Anche per questo sistema non è necessario definire spessori minimi o massimi di ghiaccio per la sua attivazione: in generale, è buona norma attivarlo non appena è presente umidità visibile e la temperatura esterna è inferiore ai 10°C.

I sistemi EEDI, in funzione della loro complessità, possono funzionare in modalità manuale od automatica oppure solo manuale.

In modalità automatica il sistema effettua dei cicli continui, mentre in modalità manuale il sistema effettua un solo ciclo su richiesta. Inoltre, a bordo, l'equipaggio dispone di un opportuno sistema di monitoraggio per controllare costantemente le prestazioni del sistema.

6.8) Sommario dei sistemi di protezione

Prima di proseguire, sembra utile effettuare un sommario schematico dei sistemi di protezione esaminati in questo capitolo prendendo tuttavia in considerazione, primariamente, le parti del velivolo su cui questi trovano più comune applicazione:

	Turbo-jet	Velivoli ad elica
Bordi d'attacco alare	Sistemi ad aria calda, a 'boot' pneumatici o a fluidi protettivi	Sistemi ad aria calda, a 'boot' pneumatici o a fluidi protettivi
Prese d'aria	Sistemi ad aria calda, a 'boot' pneumatici o elettro-termici	Sistemi ad aria calda, a 'boot' pneumatici o elettro-termici
Eliche		Sistemi elettro-termici
Blindovetri	Sistemi elettro-termici	Sistemi elettro-termici
Sistemi pitot-statici	Sistemi elettro-termici	Sistemi elettro-termici
Sonde e drenaggi	Sistemi elettro-termici	Sistemi elettro-termici
Superfici di controllo	Sistemi elettro-termici	Sistemi elettro-termici

6.9) I fluidi per la protezione dal ghiaccio al suolo

6.9.1) Generalità

Nel corso della stagione invernale, nel momento in cui un aeromobile si trova a sostare su aree di parcheggio non protette, le consuete precipitazioni atmosferiche possono dar luogo alla formazione di ghiaccio, od altri contaminanti, in grado di ridurre sensibilmente le prestazioni di decollo del velivolo.

Per sghiacciare le superfici dei velivoli è possibile utilizzare una miscela di acqua calda e glycol che, se da una parte è efficace ed economica, dall'altra fornisce una limitatissima capacità protettiva nei confronti di successive formazioni di ghiaccio. In effetti è interessante notare che fino a quindici anni fa tutti i maggiori aeroporti nord-americani eseguivano, grazie all'utilizzo dei cosiddetti fluidi di tipo I, solo delle procedure di 'de-icing', mentre le procedure 'anti-icing' non erano praticamente mai

effettuate. Va comunque evidenziato che gli enti responsabili della certificazione dei velivoli commerciali, per quanto concerne le operazioni in condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio, o di altri contaminanti, hanno sempre sottolineato il 'clean aircraft concept': ossia, prima del decollo, ghiaccio, brina, neve o altri contaminanti devono essere del tutto assenti dal velivolo.



Fig. 6.7) Esempio di trattamento protettivo al suolo

Data la limitata capacità protettiva fornita dalle procedure di 'de-icing', per ottemperare, fino al momento del decollo, al 'clean aircraft concept', sono stati sviluppati, nel corso del tempo, fluidi specifici per massimizzare l'efficacia delle procedure di tipo 'anti-icing'; tali fluidi, cosiddetti di tipo II e di tipo IV, hanno la capacità di fornire protezione, contro la formazione di eventuali contaminanti, per durate, rispettivamente, medie e lunghe.

In generale tutti i fluidi utilizzati nelle procedure 'anti-icing' hanno un comportamento cosiddetto "non-newtoniano": mentre, per i fluidi "newtoniani", la viscosità è funzione della sola temperatura, per i fluidi "non-newtoniani", la viscosità è funzione della temperatura e delle forze d'attrito. Quando, sui piazzali e sulle vie di rullaggio, l'aeromobile effettua le consuete operazioni pre-decollo, essendo la velocità trascurabile, i fluidi "non-newtoniani" mantengono una buona viscosità e quindi, rimanendo ben aderenti alle superfici del velivolo, esercitano efficacemente quella necessaria azione protettiva contro le possibili formazioni di ghiaccio. Durante il decollo poi, all'aumentare della velocità del velivolo, aumentano pure le forze d'attrito agenti sul fluido; per i fluidi "non-newtoniani" ciò provoca una repentina diminuzione della viscosità del fluido stesso che, abbandonando completamente tutte le superfici

dell'aeromobile, poco prima della velocità di rotazione, consente al velivolo di mantenere inalterate le proprie prestazioni aerodinamiche.

L'esperienza ha tuttavia dimostrato che l'utilizzo dei fluidi di tipo II sui velivoli di limitate prestazioni può comunque compromettere le capacità di decollo di tali aeromobili. Questo è dovuto al fatto che, a causa delle basse velocità di rotazione di questa classe di velivoli, le forze d'attrito sviluppate sono comunque insufficienti ad eliminare i fluidi di tipo II dalle superfici aerodinamiche e ciò incide fortemente sulla capacità di generare portanza, a velocità tanto basse, da parte di questa classe di velivoli. Per ovviare a questo inconveniente sono stati sviluppati i fluidi di tipo III. Questi fluidi forniscono una protezione più lunga dei fluidi di tipo I, ma, allo stesso tempo, hanno una viscosità inferiore rispetto a quella dei fluidi di tipo II. Date le caratteristiche dei fluidi di tipo III quindi, questi risultano ideali per i velivoli con velocità di rotazione più basse di quelle dei grandi jet commerciali, ossia, all'incirca, inferiori ai 100 Kias.

6.9.2) Peculiarità operative

La FAR 121.629 'Operation in icing conditions' afferma: "Nessun velivolo può decollare con brina, neve o ghiaccio sull'ala, sulle superfici di controllo o sulle eliche"; in sostanza, prima del decollo, il pilota deve verificare che il velivolo non sia interessato da alcun tipo di contaminante. Questo è possibile con un controllo visivo o, in caso di dubbio, passando la mano sulla superficie da controllare. Nel momento in cui il pilota stabilisce di dover effettuare la procedura di 'de/anti-icing', questi, laddove è possibile, deve decidere il tipo di fluido da usare. Il fluido scelto poi, viene, in genere, miscelato con acqua e la sua concentrazione viene determinata in base al tempo di attesa previsto, utilizzando le "Holdover Time Tables". Tali tabelle infatti, in funzione della precipitazione, del tipo di fluido scelto e della sua percentuale di diluizione, definiscono la durata media della protezione fornita da tale miscela.

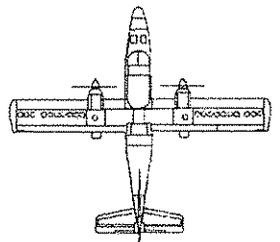
La procedura di 'de/anti-icing' poi, può essere effettuata in una od in due fasi. Se si sceglie di effettuare tale procedura in una fase unica, il fluido prescelto viene applicato caldo: in tale maniera questo, oltre a sghiacciare il velivolo, rimane sulle superfici interessate; ciò fornisce una certa capacità 'anti-icing' e quindi riesce a proteggere, anche se per una durata di tempo limitata, le superfici dell'aeromobile da eventuali successive formazioni di altro contaminante. Se si sceglie di effettuare tale procedura in due fasi, prima si esegue la fase di sghiacciamento, poi, in un secondo momento, si realizza, con un fluido di tipo II o IV applicato freddo, la fase 'anti-icing' per proteggere, con la massima efficacia, il velivolo da eventuali successive formazioni di altro contaminante. Naturalmente il fluido 'anti-icing' deve essere applicato prima che il fluido utilizzato per lo sghiacciamento diventi inefficace: in pratica è

consuetudine applicare il fluido 'anti-icing' entro tre minuti dal termine della procedura di sghiacciamento.

Sembra importante terminare questo paragrafo ricordando che il ghiaccio può formarsi, sulle superfici dei velivoli, anche ad OAT > 0°C a causa del fenomeno denominato 'cold soaking' ed i velivoli i cui serbatoi sono a diretto contatto con il rivestimento superficiale dell'ala sono particolarmente soggetti al verificarsi di tale fenomeno. In tali velivoli infatti la temperatura dell'ala è in grande misura influenzata da quella del combustibile e, dato che tale fluido ha un calore specifico maggiore rispetto a quello dei materiali che normalmente rivestono l'ala, tale superficie, soprattutto dopo un lungo volo condotto ad alta quota, può continuare a permanere, ancora per svariato tempo dopo l'atterraggio, a temperature negative anche se, al suolo, la temperatura esterna è positiva. Se, in tali condizioni, il velivolo è esposto ad aria con alto tasso di umidità, brina e persino ghiaccio possono formarsi intorno all'ala. Anche in questo caso tali contaminanti debbono essere rimossi prima che il velivolo inizi la corsa di decollo e, sempre che l'aeromobile non sia anche sottoposto a precipitazioni congelantesi, la semplice procedura di sghiacciamento può essere ritenuta soddisfacente.

7) ESEMPI DI INTEGRAZIONE DEI SISTEMI SVILUPPATI PER FRONTEGGIARE LA FORMAZIONE DEL GHIACCIO

7.1) AP68TP-600 VIATOR

Modello di aeroplano	AP68TP-600 VIATOR	
Ditta costruttrice	Partenavia	
Peso	3000 Kg	
Ditta costruttrice motori	Allison Division G. M.	
Modello del motore	250B17C+	
Potenza (per motore)	328 shp	
Tipo di propulsore	Turboelica	
Numero di motori	2	

Questo è un interessante esempio perché si tratta di un aeroplano equipaggiato con sistemi di protezione dalla formazione di ghiaccio, ma non certificato per il volo in condizioni di ghiaccio. Infatti, nel caso di una casuale formazione di tale contaminante, il sistema di protezione non è abbastanza potente per far fronte ad un aumento del ghiaccio, ma è solo sufficiente a concedere al pilota il tempo necessario per cambiare rotta.

Per lo sghiacciamento delle superfici l'aeroplano è equipaggiato con un sistema di 'boots' pneumatici ubicati sui bordi di attacco delle ali, dello stabilizzatore e della deriva. I 'boots' funzionano grazie ad impulsi di aria compressa prodotta da apposite pompe azionate dai motori. Una spia dedicata indica il funzionamento del sistema. Il sistema funziona manualmente ogni volta che si desidera attuare un ciclo di sghiacciamento grazie ad un interruttore pre-caricato nella posizione di OFF. Durante il ciclo di sghiacciamento il sistema gonfia allo stesso tempo i 'boots' della coda e quelli posizionati sull'ala per circa 6 secondi, quindi la spia dedicata si riaccenderà quando il sistema, avendo nuovamente raggiunto la corretta pressione di funzionamento, sarà pronto per un successivo ciclo. I 'boots' dovrebbero essere azionati quando l'accumulo di ghiaccio è compreso tra i ¼ e ½ inch, tuttavia la frequenza di attivazione non dovrebbe eccedere quella di un ciclo al minuto. Si tenga presente che già un accumulo di ghiaccio superiore a ½ inch è sufficiente a causare un apprezzabile aumento della velocità di 'buffet/stallo' e della potenza necessaria a mantenere i parametri desiderati; inoltre anche quando i 'boots' vengono attivati la velocità di 'buffet/stallo' aumenta. Tutto ciò impone, nel caso di atterraggio in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, un necessario incremento della velocità minima di avvicinamento.

Per quanto concerne il sistema pitot/statico, un tubo di pitot è installato sulla parte sinistra della fusoliera. Tale sonda contiene una resistenza elettrica per prevenire ogni possibile intasamento dovuto al ghiaccio. Il sistema poi, per la rilevazione della pressione statica, è dotato di due prese montate, ognuna, lungo i due lati del muso dell'aeroplano; completa il sistema una ulteriore valvola di emergenza posizionata sulla parte sinistra del pannello centrale dei comandi.

Il sistema sghiacciamento motori si basa sullo spillamento di aria calda del compressore. Tale sistema è operato manualmente tirando un pomello situato in basso a sinistra sul pannello degli strumenti. L'azionamento di tale pomello consente il transito dell'aria calda all'interno delle palette anteriori del compressore. L'uso di tale sistema provoca un aumento della T.O.T. di approssimativamente 50°C.

Le prese d'aria motore sono riscaldate elettricamente. Il sistema è comandato da due interruttori, uno per ogni presa d'aria, ubicati sul pannello degli strumenti pilota. Due pulsanti *'press-to-test'*, ognuno posizionato sopra il relativo interruttore, provvedono a segnalare ogni degrado dell'isolamento della resistenza elettrica al fine di allertare l'equipaggio della ridotta funzionalità del sistema e prevenire danni ulteriori. Per testare il sistema è necessario accendere la batteria, il riscaldamento delle prese d'aria e premere il pulsante *'press-to-test'*: il sistema completamente operativo sarà indicato dall'accensione di una luce verde posizionata nel pannello annunciatore. Il test si conclude con un ulteriore azionamento del pulsante *'press-to-test'* che inoltre spegne la luce verde. Infine, durante il funzionamento del sistema è possibile osservare un aumento di 30 amps circa sul rispettivo volt/amperometro.

Il sistema sghiacciamento eliche è composto da placche elettricamente riscaldate posizionate alla radice di ogni pala. Un apposito *'timer'* gestisce il flusso di corrente elettrica alle varie placche facendo sì che ogni singola pala sia adeguatamente riscaldata. Il *'timer'* fornisce, per circa 90 secondi, energia elettrica a tutte le placche di un'elica, poi l'energia è indirizzata a tutte le altre dell'altra elica. Un amperometro dedicato, con arco verde tra 14 e 18 amps, è posizionato sulla sinistra del pannello strumenti per monitorare il funzionamento del sistema sghiacciamento eliche.

Nel caso di volo attraverso impreviste condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio (umidità visibile e temperatura sotto i +5 °C) devono essere seguite le seguenti procedure:

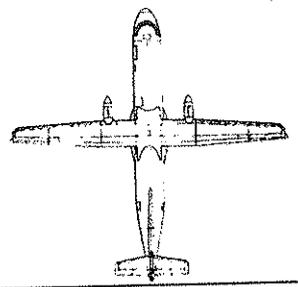
- | | |
|---|----------|
| a) Sistema riscaldamento prese d'aria motore | ON |
| b) Pomello riscaldamento palette compressore motore | PULL OUT |
| c) Riscaldamento tubo di pitot | CHECK ON |

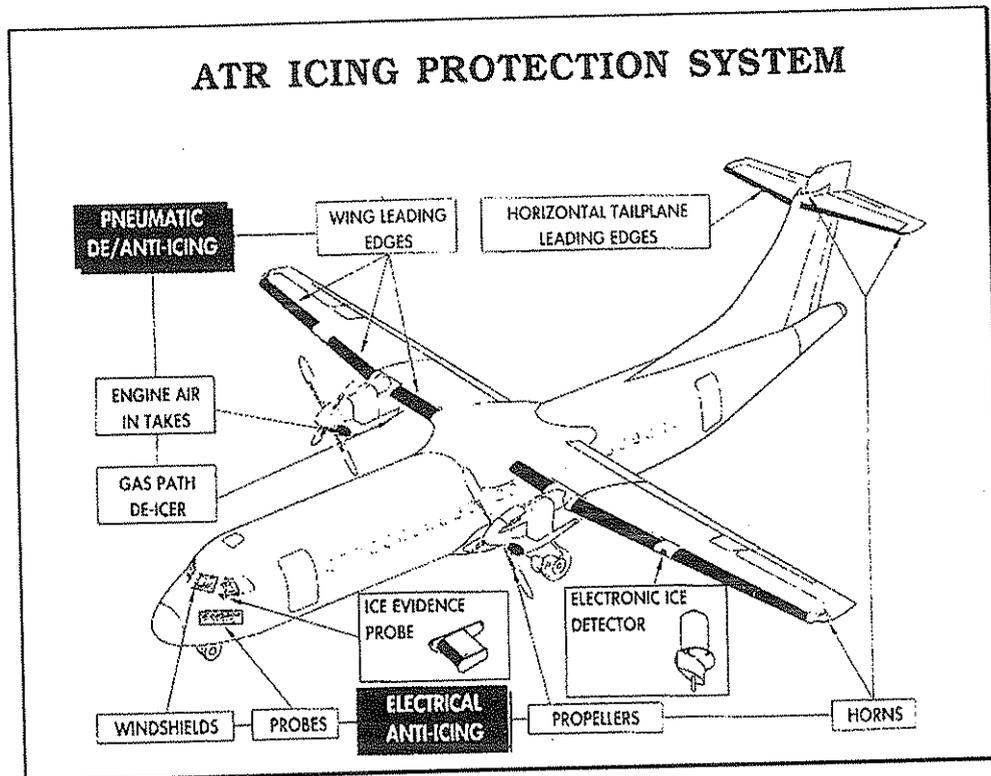
- | | |
|-------------------------------------|-------------|
| d) Candele accensione | ON |
| e) Sistema sghiacciamento superfici | AS REQUIRED |
| f) Sistema sghiacciamento eliche | ON |
| g) Temperatura dell'olio | MONITOR |

I *'boots'* devono essere OFF durante il decollo, l'avvicinamento finale e l'atterraggio.

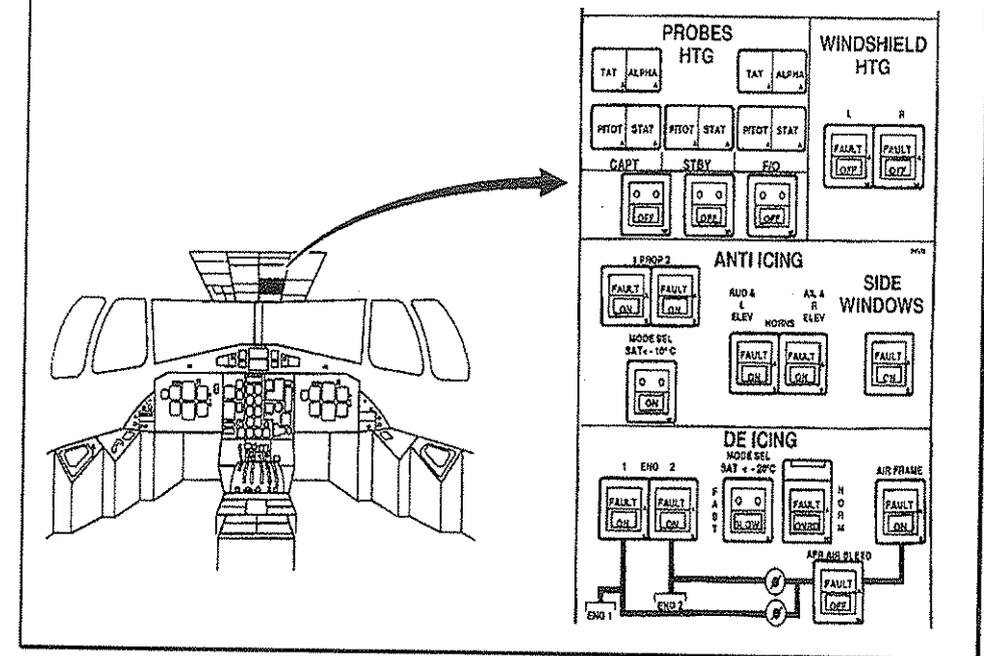
L'ispezione esterna, prima del volo, richiede anche un controllo accurato per rilevare eventuali strappi, abrasioni e pulizia dei *'boots'*; inoltre prima di ogni decollo è necessario controllare visivamente il suddetto sistema nonché l'accensione della spia luminosa ad esso associata.

7.2) ATR 72

Modello di aeroplano	72	
Ditta costruttrice	ATR	
Peso	21500 Kg	
Ditta costruttrice motori	Pratt & Whitney Canada	
Modello del motore	PW 124/127	
Potenza (per motore)	2160 - 2480 shp	
Tipo di propulsore	Turboelica	
Numero dei motori	2	



ATR 72 - ICE PROTECTION PANEL



Per quanto concerne questo velivolo i 'boots' pneumatici sono installati sulle seguenti superfici: sui bordi d'attacco delle due semiali, sul bordo d'attacco dello stabilizzatore, sulle prese d'aria dei motori e lungo i condotti interni delle prese d'aria stesse.

Per quanto riguarda il sistema antighiaccio elettrico, questo è usato sulle seguenti parti: sui blindovetri, sul sistema pitot/statico, sulle eliche, sugli 'horns' (vedi schema 'ATR icing protection system') degli alettoni, equilibratore e timone di direzione. Il sistema di rilevamento ghiaccio comprende una sonda elettronica installata a metà del bordo di attacco della semiala sinistra, mentre una sonda "a vista", opportunamente sagomata e posizionata vicino al blindovetro sinistro, consente di valutare direttamente e più agevolmente ogni eventuale accumulo di ghiaccio.

Le normali operazioni prevedono tre livelli di protezione dalla formazione di ghiaccio. Essi sono così definiti:

LIVELLO I : previsto per ogni volo.
Sistemi di riscaldamento pitot/statico e dei blindovetri accesi.

LIVELLO II: in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio.
 Accendere il sistema antighiaccio elettrico dei trasparenti laterali, delle eliche e di tutti gli "horns".
 Velocità delle eliche: minimo 86% per un'elica a 4 pale o 82% per una a 6.
 Aumentare le velocità minime di volo.

LIVELLO III: accrescimento della quantità di ghiaccio (identificazione grazie alla sonda "a vista" e/o al sistema di rilevamento).
 Attivare tutti i 'boots' pneumatici.

Per rilevare più facilmente il ghiaccio il sistema comprende una luce spia di color ambra installata nel cockpit.

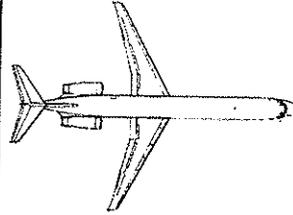
La luce color ambra si accende quando lo spessore del ghiaccio inizia a crescere (sono sufficienti 0.5 mm). La luce è fissa se gli 'horns' sono ON, mentre è lampeggiante se questi sono OFF. Inoltre se gli 'horns' sono OFF e/o i sistemi di sghiacciamento sono OFF il sistema attiverà automaticamente una spia ed un segnale acustico.

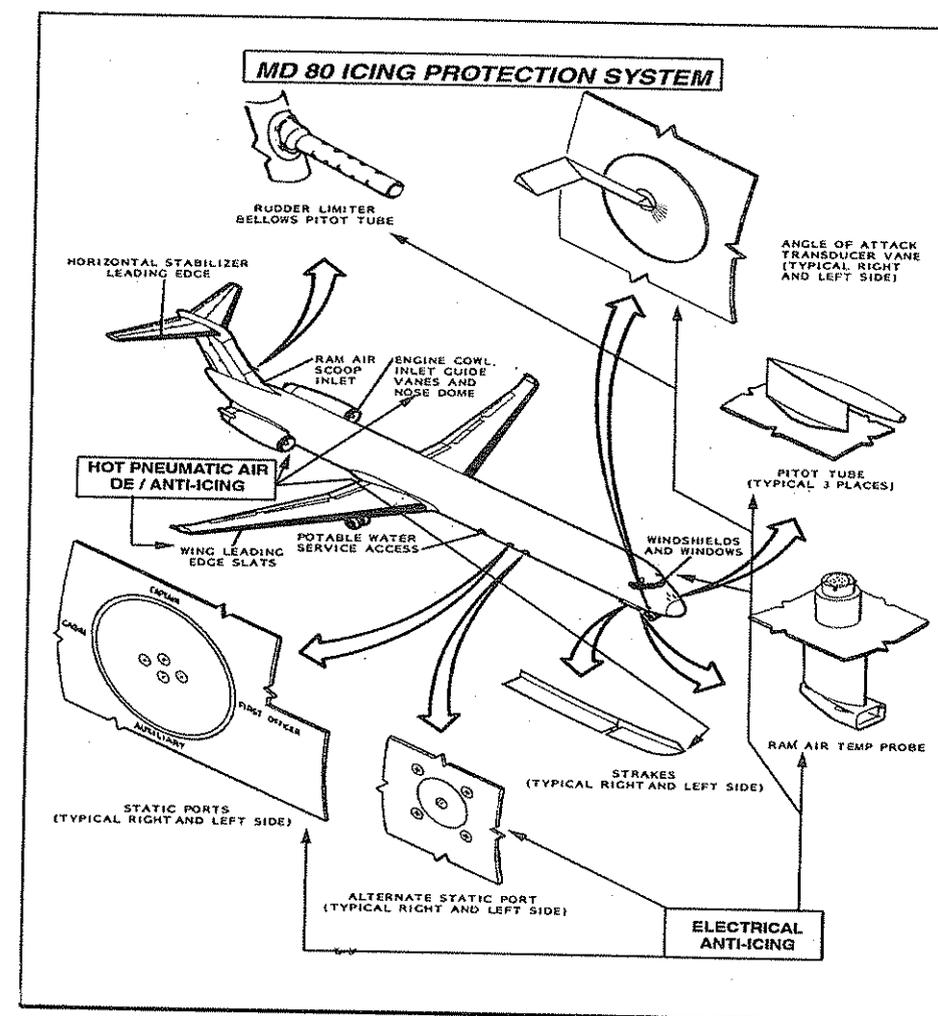
La luce ambra si spegne se, per almeno un minuto, il ghiaccio non viene più rilevato.

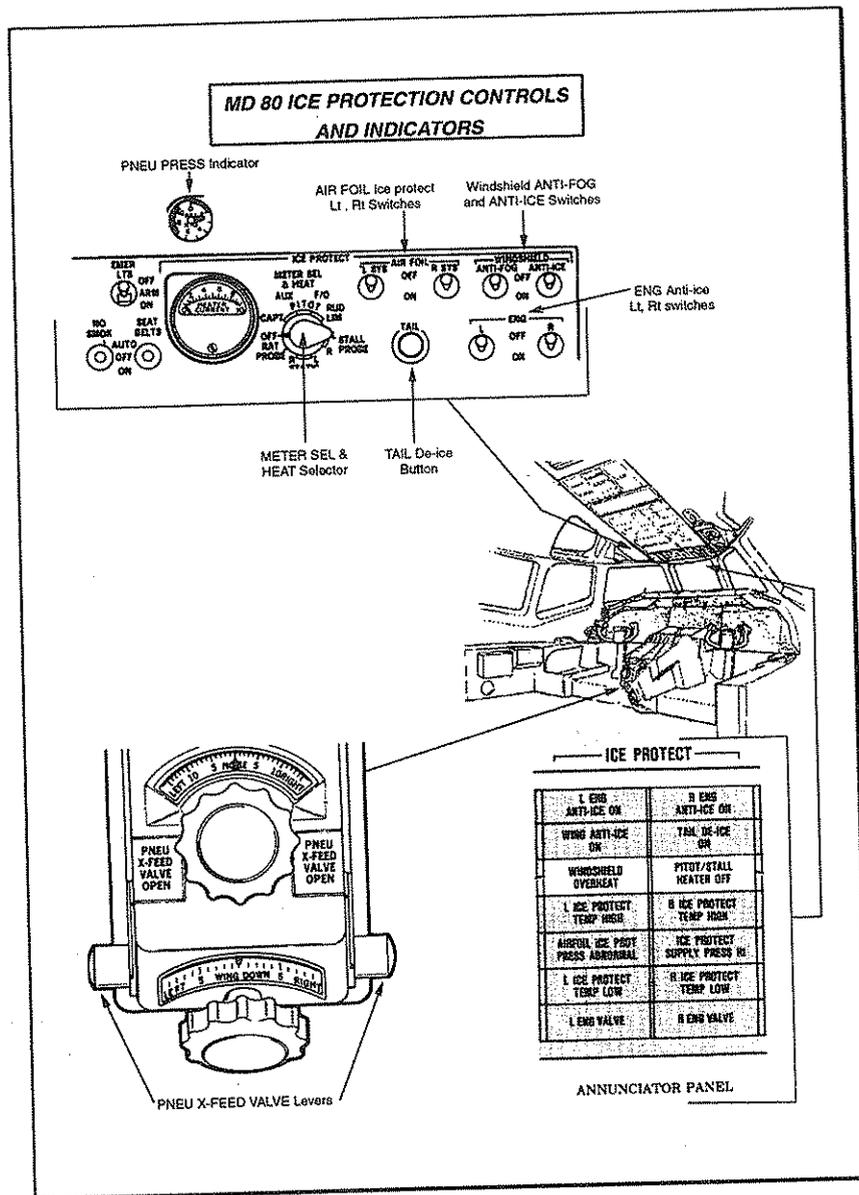
Il funzionamento del sistema sghiacciante è indicato da una spia di colore blu: la spia si accende fissa quando il sistema di sghiacciamento è ON ed è lampeggiante quando il sistema è ancora acceso dopo che per cinque minuti non è stata più rilevata alcuna presenza di contaminante.

L'aeroplano è munito anche di un pulsante verde collegato al sistema "angolo d'incidenza". Questo pulsante deve essere premuto in condizioni di ghiaccio per aumentare la velocità minima connessa con l'avviso di stallo. Inoltre tale pulsante è automaticamente selezionato quando il pilota attiva il sistema antighiaccio degli 'horns'. Per tornare alle normali velocità minime connesse con gli usuali valori di avviso di stallo il sistema antighiaccio 'horns' deve essere disattivato e il pulsante verde deve essere deselezionato.

7.3) MD80

Modello di aeroplano	MD-80	
Ditta costruttrice	McDonnell-Douglas	
Peso dell'aeroplano	63505-72575 Kg	
Ditta costruttrice motori	Pratt&Whitney Canada	
Modello del motore	JT8D	
Potenza del motore	18500-21000 lb st	
Tipo del motore	Jet	
Numero dei motori	2	





Il sistema di protezione dal ghiaccio è composto da:

- Sistema riscaldamento blindovetri;
- Sistema riscaldamento sonde pitot-statiche;
- Sistema antighiaccio motore;

- Sistema antighiaccio superfici;
- Dispositivi di rilevamento del ghiaccio sull'ala;
- Sistema di avviso di formazione di ghiaccio sull'ala;
- Sistema di segnalazione avarie.

7.3.1) Sistema riscaldamento blindovetri

Tale sistema consiste in una resistenza elettrica in grado di riscaldare i blindovetri dei piloti.

Il sistema deve essere azionato manualmente circa 30 minuti prima del decollo a prescindere dalle condizioni atmosferiche: con temperature particolarmente fredde tuttavia, si raccomanda di accendere il sistema con largo anticipo, normalmente non appena l'equipaggio sale a bordo del velivolo.

7.3.2) Sistema riscaldamento sonde pitot-statiche

Anche questo sistema si basa sull'utilizzo dell'energia elettrica: esso consiste, essenzialmente, in una resistenza il cui riscaldamento impedisce la formazione di ghiaccio sulle prese statiche, intorno ai tubi di pitot e sui sensori per il rilevamento dell'angolo d'incidenza. Questo sistema è attivo per tutto il tempo di volo, a prescindere dalle condizioni atmosferiche.

7.3.3) Sistema antighiaccio motore

Questo sistema utilizza l'aria calda proveniente dai motori.

Il sistema è completamente manuale e disegnato essenzialmente per prevenire l'accumulo di ghiaccio. Inoltre non ci sono specifici sensori incaricati di avvertire il pilota della formazione di ghiaccio, pertanto il sistema va utilizzato nel seguente modo:

- A terra deve essere azionato quando l' OAT è $< 6^{\circ}\text{C}$ ed in presenza di umidità visibile o se la temperatura di rugiada è entro 3°C dall'OAT;
- In volo deve essere azionato quando l' OAT è $< 6^{\circ}\text{C}$ ed in presenza di umidità visibile o quando il velivolo si accinge ad attraversare condizioni atmosferiche idonee alla formazione di ghiaccio.

7.3.4) Sistema antighiaccio superfici

Anche questo sistema sfrutta l'aria calda, pressurizzata, proveniente dai motori.

Il sistema è completamente manuale ed è composto da due sottosistemi: uno antighiaccio, realizzato per prevenire le formazioni di ghiaccio sul

bordo d'attacco alare, e l'altro sghiacciante, concepito per rimuovere il ghiaccio dallo stabilizzatore orizzontale di coda. Inoltre non ci sono specifici sensori incaricati di avvertire il pilota della formazione di ghiaccio, pertanto il sistema va utilizzato nel seguente modo:

- Una volta in volo, il sistema antighiaccio deve essere azionato quando l' OAT è $< 6^{\circ}\text{C}$ ed in presenza di umidità visibile o quando il velivolo si accinge ad attraversare condizioni atmosferiche idonee alla formazione di ghiaccio;
- Il sistema sghiacciante invece deve essere azionato:
 - ogni 20 minuti, in condizioni idonee alla formazione di ghiaccio;
 - prima di disattivare il sistema antighiaccio superfici;
 - circa un minuto prima di selezionare i flaps di atterraggio.

7.3.5) Dispositivi di rilevamento del ghiaccio sull'ala

Consistono in due serie di quattro adesivi triangolari, e relativi cordoncini, installati in prossimità delle radici alari. Essi sono particolarmente utili durante le operazioni a terra: controllando la libertà di movimento dei suddetti cordoncini è infatti possibile determinare l'eventuale formazione di ghiaccio vitreo.

7.3.6) Sistema di avviso di formazione ghiaccio sull'ala

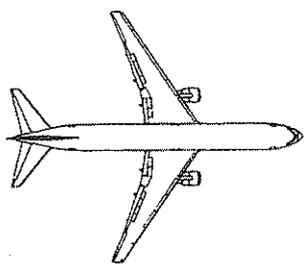
E' un sistema completamente automatico preposto ad operare solo durante le operazioni a terra. Due sensori vibranti ubicati sul dorso delle semi-ali, in prossimità delle radici, nel caso di accumulo di ghiaccio inviano un segnale opportuno che tempestivamente elaborato è in grado di accendere la spia ICE FOD sul pannello di segnalazione avarie posto nella cabina di pilotaggio.

7.3.7) Sistema di segnalazione avarie

E' previsto uno specifico pannello di segnalazione per i possibili malfunzionamenti del sistema di protezione dal ghiaccio. Questo comprende spie per:

- avarie pneumatiche: bassa pressione, bassa temperatura, alta temperatura dell'aria proveniente dai motori;
- avarie elettriche: avarie al sistema riscaldamento sonde pitot-statiche e/o blindovetri pilota;
- malfunzionamento del sistema di avviso di formazione di ghiaccio sull'ala.

7.4) B767

Modello di aeroplano	B767	
Ditta costruttrice	Boeing	
Peso dell'aeroplano	179170-204120 Kg	
Ditta costruttrice motori	Pratt&Whitney - G. E.	
Modello del motore	PW4000 - 80C2	
Potenza del motore	62100 - 63300 lb st	
Tipo di motore	Jet	
Numero dei motori	2	

Il sistema di protezione dal ghiaccio è composto da:

- Sistema riscaldamento blindovetri;
- Sistema riscaldamento sonde pitot-statiche;
- Sistema antighiaccio motore;
- Sistema antighiaccio superfici;
- Interruttore 'test' sistemi antighiaccio;
- Sistema di segnalazione avarie.

7.4.1) Sistema riscaldamento blindovetri

Tale sistema si basa, principalmente, sull'utilizzo di energia elettrica: in particolare una resistenza è usata per riscaldare i blindovetri dei piloti. Inoltre, per massimizzare la funzione anti-appannamento, viene anche utilizzato un flusso d'aria condizionata che insiste sulla superficie interna dei trasparenti. Infine anche i vetri laterali sono riscaldati elettricamente.

Il sistema, durante il volo, deve essere sempre acceso, a prescindere dalle condizioni meteorologiche.

7.4.2) Sistema riscaldamento sonde pitot-statiche

Anche questo sistema si fonda sull'utilizzo dell'energia elettrica: è composto da una resistenza il cui riscaldamento impedisce la formazione del ghiaccio sulle prese statiche, intorno ai tubi di pitot e sui sensori per il rilevamento dell'angolo d'incidenza.

Il funzionamento di tale sistema è completamente automatizzato: viene alimentato non appena l'equipaggio completa l'avviamento del primo motore.

7.4.3) Sistema antighiaccio motore

Questo sistema utilizza l'aria calda proveniente dai motori. Il sistema è controllato ed attivato dal cockpit tramite l'azionamento di specifici interruttori; esso inoltre è distintamente disegnato per evitare l'accumulo di ghiaccio. Inoltre, al fine di prevenire un possibile spegnimento del motore provocato da ingestione di ghiaccio, il sistema è in grado di attivare autonomamente la sequenza di riaccensione ogni volta che il sistema antighiaccio motori è inserito. Tuttavia, non essendoci specifici sensori in grado di allertare il pilota sulla formazione di ghiaccio, esso va utilizzato come segue:

- A terra deve essere azionato quando l' OAT è $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ed in presenza di umidità visibile o se la temperatura di rugiada è entro 3°C dall'OAT;

o

quando il velivolo è costretto ad operare su piazzali e vie di rullaggio contaminate, laddove si pensi che dell'acqua possa essere raccolta e ghiacciare attorno alle prese d'aria dei motori.

- In volo esso deve rimanere acceso solo con SAT $> -40^{\circ}\text{C}$ e quando la TAT è $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ed in presenza di umidità visibile o quando il velivolo si accinge ad attraversare condizioni atmosferiche idonee alla formazione di ghiaccio.

7.4.4) Sistema antighiaccio superfici

Anche questo sistema sfrutta l'aria calda proveniente dai motori.

Il sistema è completamente manuale ed è controllato dalla cabina di pilotaggio tramite un singolo pulsante. Attivando il sistema, due valvole, poste ognuna su ogni semi-ala, si aprono e permettono all'aria, prelevata dai motori, di scaldare i sei segmenti del bordo d'attacco alare. Inoltre, la consueta logica di funzionamento terra/volo, assicura che l'impianto entri in funzione solamente nel momento in cui il velivolo stacca le ruote dal suolo.

Il sistema è concepito per prevenire la formazione di ghiaccio sul bordo d'attacco delle ali e va utilizzato allo stesso modo del

sistema antighiaccio motore. Anche in questo caso non ci sono specifici sensori deputati ad avvertire il pilota della formazione di ghiaccio sulle ali.

Si sottolinea che il velivolo non è dotato di sistemi sghiaccianti e/o che impediscono la formazione di ghiaccio sulla coda.

7.4.5) Interruttore 'test' sistemi antighiaccio

Per i consueti 'test' pre-volo il velivolo è dotato di un semplice interruttore a tre posizioni; grazie a tale 'switch' è possibile verificare, a terra, la corretta funzionalità delle valvole antighiaccio dell'ala e del sistema riscaldamento blindovetri e sonde pitot-statiche.

7.4.6) Sistema di segnalazione avarie

Sono previste varie spie in grado di segnalare i possibili malfunzionamenti del sistema. Essi comprendono, per esempio:

- avarie alle valvole pneumatiche: posizione valvola in disaccordo con la posizione dell'interruttore;
- avarie elettriche: avarie al sistema riscaldamento sonde pitot-statiche e/o blindovetri pilota.

8) SEZIONI DEL MANUALE DI VOLO CONCERNENTI I SISTEMI ANTIGHIACCIO

Il manuale di volo dell'aeroplano (AFM) è la fonte d'informazione primaria per il pilota. Un pilota dovrebbe sempre fare riferimento all'AFM perché ogni aeroplano è differente dall'altro ed alcune procedure, benchè simili, potrebbero celare differenze essenziali.

Solitamente un AFM è strutturato in nove sezioni anche se l'effettivo numero dipende dalla complessità del tipo di aeroplano. In ogni modo, generalmente parlando, tutti gli AFM dovrebbero contenere le seguenti sezioni:

INFORMAZIONI GENERALI

Contiene i dati basilari dell'aeroplano e le informazioni generali.

LIMITAZIONI

Contiene le limitazioni operative del velivolo; vengono rappresentati gli strumenti della cabina di pilotaggio con i loro colori distintivi e le limitazioni ad essi associate; vengono presentate le limitazioni dell'apparato propulsivo e di tutti gli altri sistemi ed impianti presenti sull'aeroplano.

PROCEDURE D' EMERGENZA E CRITICHE

Queste sezioni descrivono le procedure raccomandate per i vari tipi di emergenze e di situazioni critiche.

PROCEDURE NORMALI

Questa sezione descrive le procedure raccomandate per condurre l'aeroplano durante le normali operazioni di volo.

PRESTAZIONI

Questa sezione contiene le informazioni, in merito alle prestazioni del velivolo, necessarie per poter pianificare ed eseguire un volo.

PESO E BILANCIAMENTO

Questa sezione contiene le procedure per il corretto caricamento del velivolo e le informazioni necessarie per il calcolo del corrispondente peso e centro di gravità. Le limitazioni di peso e/o di bilanciamento non devono mai essere superate.

DESCRIZIONE DEI SISTEMI

Questa sezione contiene la descrizione dell'aeroplano e dei suoi sistemi.

GESTIONE E MANUTENZIONE DEL VELIVOLO

Questa sezione contiene le informazioni generiche sulla gestione, sulle ispezioni e sulla manutenzione dell'aeroplano. Per istruzioni più specifiche comunque, si ricorda di consultare il manuale di manutenzione fornito dalla ditta costruttrice.

SUPPLEMENTI

Questa sezione contiene una serie di supplementi, ognuno dei quali descrive particolari 'modus operandi' dell'aeroplano o specifiche informazioni su sistemi opzionali installati sul velivolo.

Le sezioni in cui il pilota può ottenere le informazioni riguardanti i sistemi antighiaccio installati sul velivolo ed il loro corretto utilizzo in condizioni atmosferiche idonee alla formazione di ghiaccio sono le seguenti:

- INFORMAZIONI GENERALI
- LIMITAZIONI
- PROCEDURE D' EMERGENZA E CRITICHE
- PROCEDURE NORMALI
- PRESTAZIONI
- DESCRIZIONE DEI SISTEMI.

9) EFFETTI DEL GHIACCIO SUI VELIVOLI

Il ghiaccio può influenzare in vari modi le prestazioni e le qualità di volo di ogni velivolo: tali modi sono funzione della posizione, della quantità e del tipo di ghiaccio che si forma sulla struttura aerodinamica. Tutto ciò rende difficile classificare tutti i possibili effetti del ghiaccio sull'aeroplano. Tuttavia gli effetti più importanti sono all'origine dei seguenti fenomeni:

- **Stallo dell'ala**
- **Stallo del piano orizzontale di coda (Icing Contaminated Tail Stall-ICTS)**
- **Instabilità laterale (Icing Contaminated Roll Upset-ICRU)**
- **Formazione di ghiaccio al suolo**
- **Ghiaccio per induzione/aspirazione/espansione/cambiamento di stato**
- **Ghiaccio al carburatore**
- **Ghiaccio all'elica**
- **Ghiaccio alle antenne e sonde strumentali**
- **Contaminazione del blindovetro**

9.1) Stallo dell'ala

9.1.1) Descrizione

La formazione del ghiaccio sull'ala ha cinque effetti principali: la diminuzione dell'angolo di incidenza di stallo, la riduzione della portanza a parità di AOA, l'aumento della resistenza, del peso e la variazione del momento aerodinamico; tra questi gli effetti sicuramente più critici sono i primi due. Si pensi che anche solo una piccola quantità di ghiaccio sul bordo d'attacco infatti può drasticamente modificare le caratteristiche della curva del Cl del profilo alare: ciò determina, tra l'altro, sempre una diminuzione del coefficiente massimo di portanza.

Mentre il ghiaccio può accumularsi su varie parti del velivolo, la disamina, in questo paragrafo, concerne principalmente gli effetti della formazione di ghiaccio attorno ai profili alari. Esiste un'infinita varietà di forme, spessori e consistenze di ghiaccio le quali, in funzione di alcune variabili (umidità, velocità, curvatura, posizione, incidenza), possono formarsi attorno al profilo alare. Ogni diversa forma di ghiaccio produce essenzialmente un nuovo profilo con differenti caratteristiche aerodinamiche; inoltre le nuove curve di resistenza e portanza o il nuovo angolo di incidenza di stallo o il nuovo coefficiente dei momenti di beccheggio, non solo saranno differenti da quelli del profilo originario, ma saranno differenti anche da quelli prodotti da altre formazioni di ghiaccio. Di fatto gli effetti prodotti da questi nuovi profili alari sono svariati: alcuni sono relativamente trascurabili e quasi indistinguibili rispetto a quelli del profilo originario; altri invece possono alterare le caratteristiche

aerodinamiche così drasticamente che, ad esempio, l'ala potrebbe immediatamente entrare in stallo ed anche senza alcun tipo di preavviso.

9.1.2) Criteri di prevenzione

Quando si vola in condizioni di ghiaccio è molto importante monitorare la velocità e mantenere un margine maggiore dalla velocità di stallo. Alcuni aeroplani sono forniti di impianti che automaticamente diminuiscono l'angolo di incidenza al quale intervengono i sistemi di avviso di stallo; ciò accade, di solito, nel momento in cui il pilota attiva i sistemi antighiaccio.

9.1.3) Azioni di recupero

La manovra per la rimessa dallo stallo dovuto a formazione di ghiaccio è sostanzialmente analoga a quella prevista per lo stallo classico: il pilota deve ridurre l'angolo di incidenza ed incrementare la velocità. Solitamente, ma soprattutto in questo caso, è buona norma aumentare la potenza gradualmente e con attenzione in quanto una sua brusca applicazione potrebbe provocare effetti indesiderati, improvvisi e deleteri. Si consideri inoltre che, poiché l'incremento e/o il distacco del ghiaccio possono essere asimmetrici, anche lo stallo dell'ala può essere asimmetrico: in queste condizioni, perciò, lo stallo dell'ala potrebbe essere associato anche ad un rilevante rollio indesiderato dell'aeroplano. La manovra per la rimessa da tali circostanze obbliga il pilota a ridurre l'angolo di incidenza e ad operare opportunamente con gli alettoni per neutralizzare il predetto rollio.

Nonostante anche questo tipo di contaminazione possa provocare, proprio come l'ICRU (che analizzeremo successivamente), un improvviso momento di rollio indesiderato, la maggiore differenza con l'ICRU consiste nel fatto che il tipo di contaminazione descritta in questo paragrafo, in genere, non è in grado di provocare un'inversione dei momenti di cerniera degli alettoni. Per entrambi i fenomeni, comunque, si ricordi che l'azione iniziale di rimessa consiste sempre in una diminuzione dell'angolo d'incidenza.

9.2) Stallo del piano orizzontale di coda (ICTS)

9.2.1) Descrizione

Per i velivoli ad architettura "convenzionale" il centro di gravità (C.G.) è posizionato davanti al centro aerodinamico dell'ala. Perciò la portanza alare ed il peso del velivolo generano un momento picchiante che deve essere bilanciato - affinché l'aeromobile sia longitudinalmente stabile - da un altro momento uguale ed opposto generato dalla deportanza del piano orizzontale di coda (Fig.9.1).

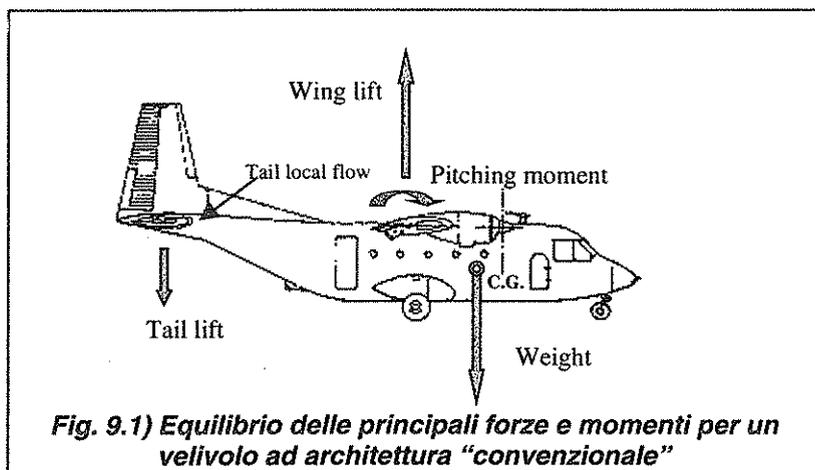


Fig. 9.1) Equilibrio delle principali forze e momenti per un velivolo ad architettura "convenzionale"

La prima cosa da sottolineare quando si parla di ICTS è che l'angolo di incidenza del piano orizzontale di coda è completamente differente da quello dell'ala. Più precisamente la relazione che lega i suddetti angoli di incidenza è la seguente:

$$\alpha_h = \alpha_{airplane} - \varepsilon_h + i_h$$

dove α_h è l'angolo d'incidenza del piano orizzontale di coda, $\alpha_{airplane}$ è l'angolo d'incidenza dell'ala del velivolo, i_h è l'incidenza geometrica del piano di coda stesso e infine ε_h rappresenta il contributo del 'downwash' a valle dell'ala.

Il 'downwash', a sua volta, è anch'esso funzione dell'angolo d'incidenza dell'ala, della posizione dei flaps (Fig.9.2) e, per i velivoli ad elica, del flusso delle eliche. Tale contributo può così essere analiticamente sintetizzato:

$$\varepsilon_h = f(\alpha_{airplane} + \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon_{flaps})$$

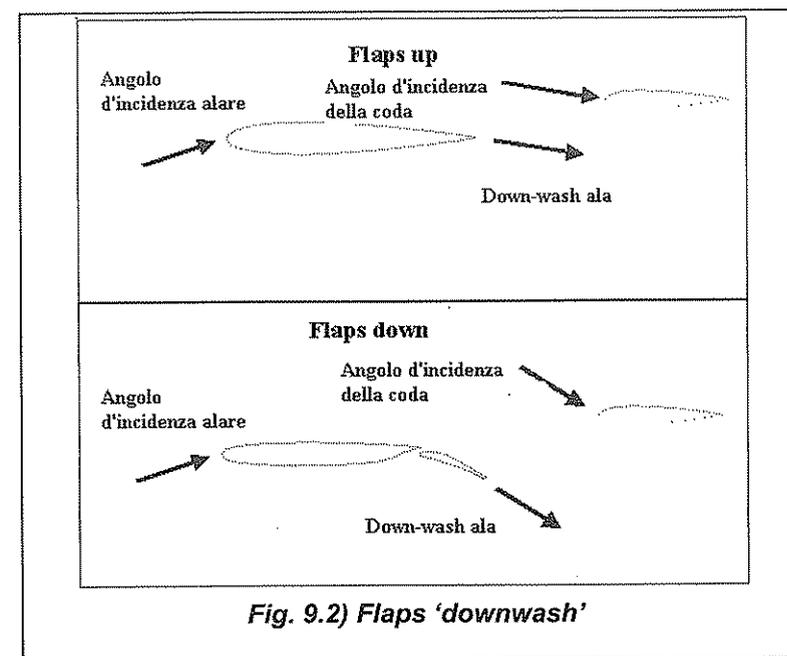
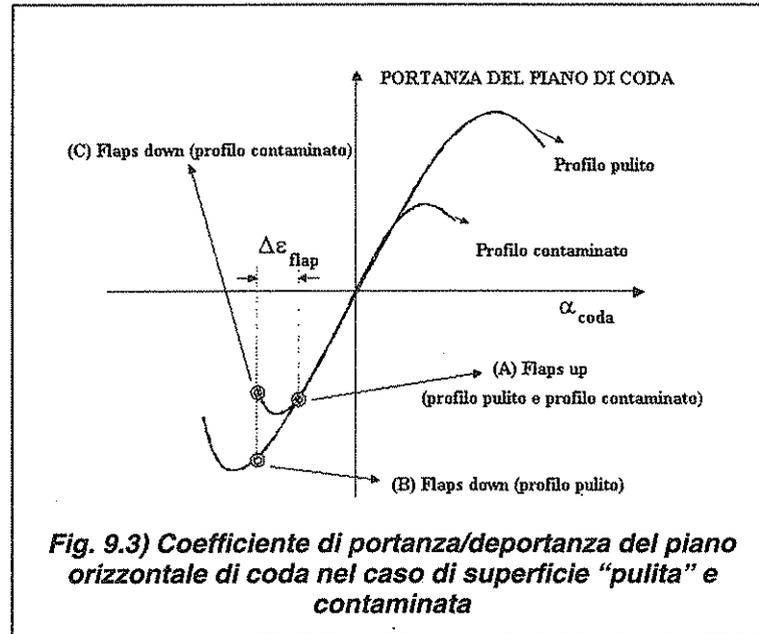


Fig. 9.2) Flaps 'downwash'

Dove ε_0 rappresenta il contributo del flusso dell'elica e $\Delta\varepsilon_{flaps}$ rappresenta quello dovuto alla deflessione dei flaps.

Nel momento in cui i flaps vengono abbassati il momento picchiante del velivolo aumenta a causa dell'effettivo aumento della curvatura alare. La variazione del 'downwash', provocato dall'abbassamento dei flaps, genera un aumento dell'angolo d'incidenza del piano di coda che, di per sé, aiuta la coda a generare la necessaria deportanza. Il pilota poi, agendo sul trim longitudinale, raffina tale variazione e, in funzione del tipo di velivolo e della velocità di trim desiderata, riduce od aumenta ulteriormente l'angolo d'incidenza della coda per ottenere l'assetto desiderato. Se il bordo d'attacco del piano di coda è contaminato dal ghiaccio, la curva di portanza di tale profilo, soprattutto alle alte incidenze, risulta degradata e lo stallo del piano orizzontale di coda avviene ad incidenze decisamente più basse. Quindi la manovra dell'abbassamento dei flaps in posizione massima può senz'altro essere in grado di far aumentare l'angolo d'incidenza del piano di coda oltre quello di stallo per profilo contaminato. Nel momento in cui il piano orizzontale di coda stalla, non si è più in grado di produrre la necessaria deportanza volta a controbilanciare il naturale momento picchiante degli aeromobili ad architettura "convenzionale" e così tali macchine, nella condizione suddetta, iniziano ad appruare costantemente il muso fino a raggiungere assetti longitudinali estremi, anche superiori a quello

verticale. Se si considera inoltre che un tale evento può tipicamente accadere nel momento in cui il pilota seleziona i flaps di atterraggio, si comprende come la quota a disposizione potrebbe essere insufficiente per consentire all'equipaggio il recupero del velivolo.



Per chiarire meglio il fenomeno, si osservi la figura 9.3 dove si è disegnato il grafico tipico della variazione del coefficiente di portanza/deportanza del piano orizzontale di coda in funzione dell'angolo d'incidenza dello stesso in caso di coda "pulita" e contaminata da ghiaccio.

Come si vede, dall'origine degli assi fino al punto A della curva, il piano di coda, sia contaminato che non, è sempre in grado di fornire la deportanza adeguata a bilanciare il velivolo nelle varie condizioni di volo. Nel momento in cui i flaps vengono abbassati, l'aumentata inclinazione del 'downwash' alare ($\Delta \epsilon_{flaps}$) causerà, come detto, un aumento immediato dell'angolo d'incidenza del piano orizzontale di coda e quindi, prendendo nuovamente in esame la figura 9.3, farà lavorare tale superficie in prossimità dei punti B e C, rispettivamente per il caso di bordo di attacco "pulito" e contaminato. Ricordando, inoltre, che nel momento in cui si abbassano i flaps, a causa della maggiore curvatura alare, è necessario che il piano di coda produca una deportanza aggiuntiva, si comprende come ciò sia possibile per il piano di coda

"pulito" (punto B), ed, al contrario, impossibile per il piano di coda contaminato da ghiaccio (punto C). Quest'ultimo, lavorando in condizioni di stallo, produce una deportanza addirittura inferiore a quella che era in grado di produrre in condizioni di 'flaps up' nel punto A. Quindi, in questo secondo caso, il pilota assisterà allo svilupparsi di un incontrastabile momento picchiante che, in assenza di opportune manovre correttive, produrrà assetti longitudinali sempre più accentuati.

9.2.2) Identificazione

Prima di soffermarci sui sintomi che possono aiutare il pilota ad identificare l'ICTS è importante sottolineare che questo fenomeno si manifesta in maniera totalmente differente in funzione del tipo di comandi di volo ("reversibili" od "irreversibili"⁴) installati sui velivoli. Infatti, nel momento in cui il piano di coda, contaminato dal ghiaccio, risulti stallato, l'area di bassa pressione che si viene a creare lungo la parte inferiore di tale superficie può generare notevoli forze che tendono a fletterla verso il basso. Tuttavia, se il comando di volo è irreversibile la superficie non si muoverà dalla sua posizione originaria, mentre, se il comando di volo è reversibile, l'equilibratore si abbasserà immediatamente e, se la superficie aerodinamica è sufficientemente grande, la forza generata potrà essere anche in grado di strappare la barra dalle mani dei piloti.

Inoltre, per quanto riguarda i comandi di volo irreversibili, va ricordato che se anche il pilota, in presenza di ICTS, è in grado senza sforzi anomali di muovere il piano orizzontale di coda, esso comunque risulta stallato, per cui ogni istintivo tentativo di tirare la barra pone il piano di coda in una condizione ancora più aggravata di stallo, con relativo aumento del momento picchiante: tutto ciò, oltre a provocare un effetto opposto rispetto a quello desiderato, risulterà, per di più, alquanto disorientante.

Infine, poiché in caso di contaminazione il piano di coda può anche trovarsi a lavorare in condizioni in cui il gradiente della curva esaminata in figura 9.3 cambia segno, il pilota potrebbe essere indotto a compiere con la barra di comando dei continui movimenti longitudinali, simili a quelli osservabili nel caso di 'Pilot Induced Oscillations' (PIO), nell'improbabile tentativo di controllare l'assetto del velivolo. Riassumendo, in caso di ICTS, i sintomi più probabili che si possono riscontrare sono i seguenti:

- Movimenti longitudinali della barra di comando simili a quelli riscontrabili nel fenomeno del PIO.

⁴ Si definiscono "reversibili" quei comandi di volo che usano sistemi tali per cui la barra di comando del pilota risulta collegata alla superficie di controllo semplicemente tramite cavi, pulegge, squadre di rinvio, aste. Si definiscono "irreversibili" quei comandi di volo che usano sistemi tali per cui la barra di comando del pilota risulta collegata alla superficie di controllo tramite sistemi idraulici e/o elettrici.

- Per i comandi di volo di tipo "reversibile" "buffet" percepibile maggiormente attraverso la barra che non attraverso la struttura del velivolo. Tale "buffet" è generato dalla vorticosità del campo aerodinamico localizzato proprio attorno ai piani di coda.
- Perdita di stabilità longitudinale: il velivolo inizia a sviluppare un inspiegabile momento picchiante.
- Per i comandi di volo di tipo reversibile si potranno riscontrare possibili movimenti "uncommanded" della barra.
- Per i comandi di volo di tipo irreversibile, invece, si potrà notare una perdita di efficacia del comando stesso insieme ad un aumento del momento picchiante, a mano a mano che il pilota tira a se' la barra.

Si sottolinea inoltre che alcuni dei suddetti sintomi possono anche accadere insieme.

9.2.3) Criteri di prevenzione

Naturalmente la migliore azione per combattere l'ICTS è rispettare le indicazioni date dal costruttore e quindi utilizzare opportunamente i sistemi antighiaccio installati sul velivolo oppure, se il velivolo non è 'icing certified', evitare completamente il volo in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio. Tuttavia, se il velivolo dovesse avere tali sistemi in avaria, per un malfunzionamento avvenuto in volo, oppure in caso di impreviste formazioni di ghiaccio su velivoli non dotati di sistemi antighiaccio, alcune precauzioni possono comunque scongiurare l'instaurarsi dell'ICTS. Esse possono essere così brevemente riassunte:

- Limitare l'escursione dei flaps se il volo avviene in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio.
- Staccare l'autopilota in caso di formazioni di ghiaccio severe. Tale automatismo infatti cercherà di correggere automaticamente ogni condizione anomala, mascherando quindi i sintomi che il pilota invece potrebbe sfruttare per interpretare la particolare situazione in atto.
- Atterrare con una posizione intermedia dei flaps, usare un opportuno, e non eccessivo, incremento di velocità e modulare oculatamente il motore.

Il fenomeno dell'ICTS è molto insidioso, non solo perché esso è poco noto, ma anche perché, quando accade, è di difficile interpretazione. Inoltre questo si manifesta essenzialmente nel momento in cui il pilota decide di abbassare completamente i flaps; questa manovra avvenendo tipicamente a bassa quota lascia all'equipaggio, come mostrato in figura 9.4, veramente limitati margini d'intervento.

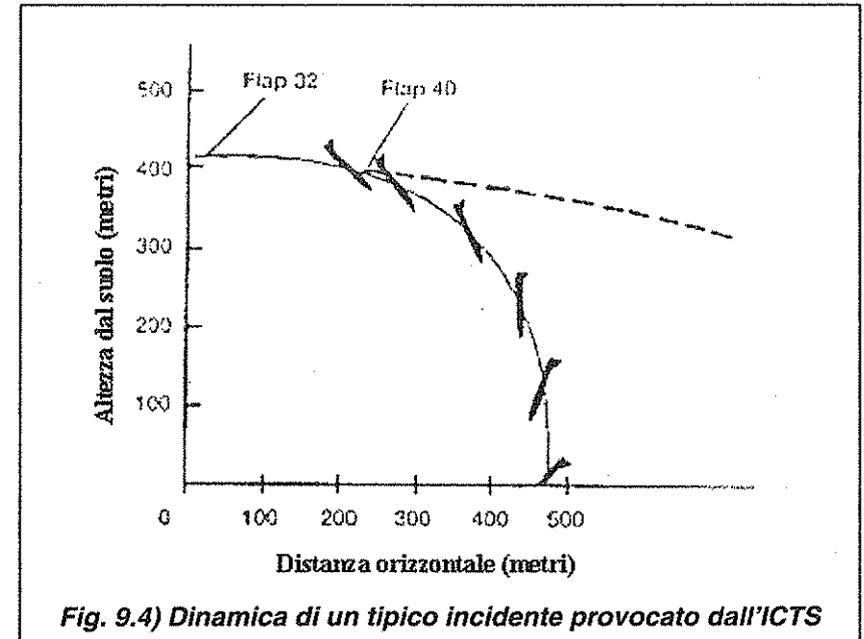


Fig. 9.4) Dinamica di un tipico incidente provocato dall'ICTS

La maniera migliore per combattere tale fenomeno è sicuramente averne una conoscenza completa; ciò implica: comprenderne la dinamica, conoscere le caratteristiche dei comandi di volo del velivolo su cui si opera, capire le azioni che possono generarlo, conoscere i sintomi caratteristici, avere sempre ben presente la situazione globale in cui si opera ed infine, come "ultima ratio", sapere quali sono le azioni correttive. Tutto ciò, in caso di ICTS, deve essere ben chiaro nella mente del pilota, poiché la tempestività di un intervento corretto è l'altro parametro fondamentale che può, se tutti i criteri di prevenzione fossero trascurati, scongiurare il verificarsi di un incidente.

9.2.4) Azioni di recupero

Quando il pilota si appresta a ricoverare il velivolo dalla perdita di stabilità longitudinale è vitale che questi non confonda l'ICTS con il normale stallo alare, in quanto le azioni necessarie per la rimessa sono alquanto differenti.

Dopo aver descritto la dinamica dell'ICTS si comprende come questo tipicamente si manifesti nel momento in cui il pilota decida di posizionare i flaps alla massima estensione; per ricoverare da tale evento, quindi, si dovrà riportare immediatamente i flaps nella posizione precedente e contemporaneamente tirare opportunamente la barra; per quanto riguarda lo stallo alare, invece, è noto che la barra debba essere appoggiata in avanti.

Questa puntualizzazione è particolarmente importante per quei velivoli equipaggiati anche di *'stick shaker'* e *'pusher'*. Tali sistemi, infatti, possono facilmente fuorviare il pilota: ad esempio, l'intervento dello *'stick shaker'* può facilmente essere confuso con il *'buffet'* aerodinamico sui piani di coda provocato dall'ICTS e, vista la differenza di interventi necessari per ricoverare il velivolo, è fondamentale che non ci siano dubbi circa l'intervento correttivo da adottare.

La percezione della velocità indicata, della situazione atmosferica, della variazione della configurazione del velivolo sono discriminanti fondamentali per interpretare correttamente le varie situazioni; in sintesi la corretta *'situation awareness'* è una delle condizioni che **DEVE** essere tenuta ben presente per interpretare correttamente l'ICTS.

Riassumendo, in caso di ICTS, il pilota, per cercare di contrastare la tendenza a picchiare del velivolo, dovrà agire come segue:

- Possedere la corretta *'situation awareness'*.
- Immediatamente retrarre i flaps nella posizione precedente e quindi tirare indietro la barra quanto basta per ricoverare il velivolo.
- Utilizzare i motori in maniera adeguata (infatti per alcuni modelli di velivolo l'aumento eccessivo di potenza può aggravare l'ICTS).
- Se impossibilitati a sghiacciare i piani di coda, atterrare con un ridotto settaggio dei flaps.

9.3) Instabilità laterale (Icing Contaminated Roll Upset – ICRU)

9.3.1) Descrizione

Tale fenomeno è causato da una iniziale separazione del flusso che a sua volta può provocare una indesiderata deflessione degli alettoni o comunque una perdita o degrado delle caratteristiche di rollio del velivolo. L'ICRU non si verifica molto frequentemente, ma quando avviene è in grado di modificare radicalmente le caratteristiche laterali di ogni velivolo, a prescindere dalle loro dimensioni. Inoltre tale fenomeno, quando risulta causato da condizioni atmosferiche favorevoli a formazioni di ghiaccio "severe", è alquanto insidioso in quanto può sopraggiungere improvvisamente e senza alcun tipo di avviso aerodinamico.

In particolari condizioni atmosferiche la formazione di ghiaccio sulla superficie anteriore dell'ala può generare una bolla di bassa pressione sul dorso alare che, in funzione di altre condizioni, può arrivare ad estendersi posteriormente fino ad interessare gli alettoni. In questa situazione l'anomala area di bassa pressione presente sul dorso alare

può causare, nei velivoli con alettoni "reversibili"⁵, l'inversione dei momenti di cerniera e, di conseguenza, un'improvvisa e violenta deflessione di tali superfici verso la bolla di bassa pressione (*'aileron snatch'*); nei velivoli con alettoni "reversibili"⁶ invece, tale fenomeno può provocare una riduzione o addirittura una perdita d'efficacia di tali superfici.

L' *'aileron snatch'*, tipico fenomeno nei velivoli con comandi di volo "reversibili", è un termine anglosassone che serve a descrivere l'improvviso e non voluto spostamento degli alettoni dalla loro posizione neutra, causato dall'anomalo sbilanciamento delle forze aerodinamiche in prossimità di tali superfici anche ad angoli d'incidenza ben inferiori rispetto a quello critico. Inoltre, sui velivoli equipaggiati con tali alettoni ("reversibili") questo fenomeno provoca anche un netto cambiamento degli sforzi che la catena dei comandi di volo trasmette all'equipaggio: il pilota invece di esercitare dello sforzo per spostare gli alettoni è costretto ad impiegare della forza per riportarli e tenerli al centro. Altri indizi concreti dell'instaurarsi di questo fenomeno possono essere forniti da oscillazioni, vibrazioni, scuotimenti o *'buffet'* che si manifestano sulla barra di comando. Si ricordi invece che per alettoni "irreversibili" la parziale o totale perdita di efficacia di tale comando dovuta all'ICRU, in genere, non è associata a variazioni degli sforzi trasmessi dalla catena dei comandi di volo al pilota.

L'ICRU è generalmente accompagnato da variazioni di assetto laterale che, data la sostanziale perdita di efficacia degli alettoni, risultano assai pericolose in quanto il pilota, in tali situazioni, non dispone del comando primario per tentare di correggere l'assetto del velivolo.

9.3.2) Criteri di prevenzione

Tipicamente l'ICRU è provocato da uno scalino di ghiaccio che si forma in prossimità del bordo di attacco alare. Le tipiche condizioni favorevoli a tale formazione si verificano quando il velivolo attraversa uno strato di SLD (particelle di acqua sopraffusa di grandi dimensioni). Queste goccioline, a causa della loro grande inerzia, riescono a colpire, in particolari condizioni, la superficie dell'ala anche al di là delle zone protette dai sistemi antighiaccio. Queste all'impatto si ghiacciano e, gradualmente, formano uno scalino che non può essere artificialmente eliminato: il tipico caso in cui un simile processo può avere luogo si verifica, ad esempio, quando il velivolo attraversa con i flaps estesi nubi in cui esistono SLD.

Per quanto concerne i criteri di prevenzione quindi:

⁵ Vedi nota 4 a pag. 121.

⁶ Vedi nota 4 a pag. 121.

- Per prima cosa evitare di attraversare strati di SLD.
- Poi analizzare accuratamente le previsioni e le carte meteorologiche; individuare le aree in cui esistono o sono previste le condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio; porre tali aree in correlazione alla rotta pianificata. A tal proposito è utile sapere che in circa il 25% dei casi è stato possibile riscontrare la presenza di SLD all'interno di nubi stratificate la cui temperatura, a tutti i livelli, era sotto lo 0°C ed alla cui cima si è riscontrato uno strato consistente di 'wind shear'; la presenza di uno strato più caldo superiore, invece, non è affatto scontata.
- Quindi prestare particolare attenzione alla temperatura esterna, al livello di congelamento, specialmente quando la TAT è vicina allo 0°C o è, addirittura, di poco maggiore; poi nel caso si riscontrino formazioni di ghiaccio "severe", cambiare rotta, quota od entrambe per cercare un'area più calda o sostanzialmente più fredda o meglio, priva di nubi.
- Infine se si dovessero riscontrare significativi accumuli di ghiaccio, sganciare l'autopilota e passare al controllo manuale del velivolo: gli automatismi, infatti, potrebbero mascherare sintomi importanti per l'identificazione dell'ICRU o potrebbero, improvvisamente, disconnettersi provocando repentinamente una considerevole variazione di assetto.

Evitare di effettuare attese in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio con i flaps estesi: prolungate attese in tali condizioni potrebbero provocare un accumulo di contaminante al di là delle zone protette dai sistemi antighiaccio del velivolo. Se tuttavia, in tali condizioni, i flaps sono stati abbassati si consiglia di non retrarli, in quanto l'aumento d'incidenza connesso con la predetta manovra potrebbe generare un angolo superiore rispetto a quello di stallo del profilo alare contaminato. In ogni caso, anche per le predette operazioni, si suggerisce di seguire scrupolosamente le indicazioni fornite dal costruttore.

Dopo l'incidente dell'ATR di Roselawn (vedi Capitolo 11), tutti i turboelica con comandi di volo "reversibili" sono stati analizzati dalla FAA per cercare di determinare gli elementi che potessero aiutare gli equipaggi ad identificare le SLD. Le scoperte più significative sono riportate qui di seguito:

- Accumulo di ghiaccio sulle aree normalmente non interessate da tale fenomeno (ad esempio sui trasparenti laterali dell'ATR).
- Formazione di ghiaccio dietro le zone protette.

- Accumulo di ghiaccio sulle ogive delle eliche o sulle carenature dei motori, ben oltre le aree normalmente interessate.
- Pioggia visibile ad OAT negative.

9.3.3) Azioni di recupero

In caso di ICRU si consiglia immediatamente di ridurre l'angolo di incidenza per tentare di riacquisire il controllo del velivolo. Questa, in tali condizioni, è l'unica manovra che potrebbe risultare efficace; infatti, la riduzione dell'angolo di incidenza potrebbe far riattaccare il flusso aerodinamico e permettere nuovamente il controllo laterale dell'aeroplano.

L'angolo d'incidenza può essere ridotto abbassando l'assetto del velivolo, aumentando la velocità od estendendo i flaps. La tecnica preferita è senz'altro la prima; infatti, nonostante la necessaria perdita di quota, si potrà godere di un'istantanea riduzione dell'angolo d'incidenza e di un contemporaneo aumento di velocità. La tecnica che prevede l'estensione dei flaps può essere considerata secondaria in quanto i benefici possono non essere immediati; l'estensione dei flaps provoca sensibili variazioni di trimmaggio longitudinale ed inoltre può provocare l'ICTS. Comunque, va ricordato, che nell'inconveniente accaduto all' EMB-120 nel Marzo del 1998 l'estensione dei flaps si dimostrò l'unica manovra che permise concretamente di riacquisire il controllo del velivolo.

Se in virata, è vitale annullare l'angolo di banco; inoltre impostare una potenza coerente con le condizioni di volo; quindi monitorare la velocità e l'angolo d'assetto e/o d'incidenza, se disponibile.

Se i flaps sono stati estesi, a meno che il dorso dell'ala non risulti privo di contaminazione, non retrarli. Controllare poi che i sistemi di protezione dalla formazione di ghiaccio funzionino correttamente. Se si verificano dei malfunzionamenti seguire le procedure di emergenza previste dal costruttore.

Infine comunicare, appena possibile, al servizio del controllo del traffico aereo, l'incontro di condizioni atmosferiche in grado di generare formazioni di ghiaccio "severe": una tempestiva comunicazione in merito alla presenza di simili condizioni meteorologiche potrebbe essere di vitale importanza per altri equipaggi.

9.4) Formazione di ghiaccio al suolo

Il principio fondamentale su cui si basano le operazioni durante condizioni di tempo avverso è il concetto di "ala pulita" o '*clean wing concept*'. La

normativa JAR-OPS 1.345 prescrive esplicitamente che la corsa di decollo non deve essere iniziata a meno che le superfici aerodinamiche del velivolo non siano libere da ogni forma di contaminante che potrebbe influenzare negativamente le prestazioni e/o le qualità di volo del velivolo, ad eccezione dei casi specificatamente previsti dal costruttore.

I dati di volo sperimentali indicano che formazioni di brina, neve o ghiaccio, ubicati sul bordo d'attacco e sul dorso anteriore dell'ala, con spessori e ruvidità paragonabili a quelli della cartavetrata di grana media o grossa, possono ridurre la massima portanza producibile anche del 30% ed aumentare la resistenza anche del 40%. Spessori e ruvidità maggiori, naturalmente, peggiorano ancor più l'efficienza del profilo. Oltre alle considerazioni riguardanti le prestazioni è opportuno ricordare che il ghiaccio, ovunque e comunque si formi, rappresenta la forma di contaminante più pericolosa: ad esempio, il ghiaccio che si forma nella zona superiore della fusoliera di un velivolo potrebbe staccarsi durante la corsa di decollo e venire ingerito dai motori montati posteriormente.

La contaminazione al suolo dei velivoli può essere provocata da neve o da altre precipitazioni congelantesi; inoltre, essa dipende anche dalla temperatura esterna, dalla temperatura della superficie del velivolo, dall'umidità relativa, dalla velocità e dalla direzione del vento; una precipitazione particolarmente insidiosa è rappresentata dalla pioggia di granuli di ghiaccio o *'ice pellets'*: essi sono costituiti da corpuscoli trasparenti o traslucidi con un diametro massimo fino a 5 mm. Tali cristalli, normalmente, rimbalzano quando colpiscono il suolo producendo addirittura un rumore ben distinto. Inoltre, tale precipitazione riesce a penetrare anche il fluido antighiaccio di cui le superfici aerodinamiche dei velivoli vengono cosparse: ciò fa sì che gli *'ice pellets'* siano in grado di entrare in contatto con le superfici del velivolo e degradare le caratteristiche dei fluidi protettivi molto rapidamente.

Nei velivoli in cui i serbatoi sono a diretto contatto con la superficie interna dell'ala, la temperatura del combustibile influenza in maniera determinante anche la temperatura di tale superficie. In questo modo, ad esempio dopo un lungo volo, la temperatura dell'ala può essere decisamente inferiore rispetto all'OAT al suolo (fenomeno detto del *'cold soaking'*), così si possono avere formazioni di ghiaccio sulle ali in corrispondenza dell'ubicazione dei serbatoi: tali formazioni, in funzione della temperatura esterna, dell'umidità, del tipo di precipitazione, possono provocare formazioni sia di ghiaccio brinoso, sia di ghiaccio vitreo. Quest'ultimo tipo di ghiaccio è estremamente pericoloso anche al suolo perché non solo è di difficile individuazione a causa del "colore" trasparente, ma perché potrebbe staccarsi durante la corsa di decollo dell'aeromobile ed essere ingerito, con conseguenze facilmente immaginabili, dai motori di quei velivoli in cui tali apparati sono montati posteriormente.

Per evitare il verificarsi del fenomeno del *'cold soaking'* la temperatura superficiale dell'ala dovrebbe essere aumentata. Spesso ciò è realizzato rifornendo il velivolo di combustibile caldo e/o ricoprendo le ali di fluidi caldi che hanno la capacità di abbassare il punto di congelamento.

In ogni caso sia il ghiaccio che la brina devono essere rimossi prima di iniziare la corsa di decollo. L'unica eccezione può riguardare la brina accumulata sulla superficie inferiore dell'ala che, se di dimensioni non eccedenti quelle indicate dal costruttore, può essere tollerata.

Un velivolo può essere sghiacciato in svariati modi. Per quanto concerne i velivoli di piccole dimensioni ad esempio, una soluzione può essere quella di trainare l'aeromobile all'interno di un hangar riscaldato e parcheggiarlo lì per il tempo opportuno. Nel caso invece il velivolo debba rimanere all'aperto, coprire le ali e le superfici aerodinamiche critiche consentirà successivamente di abbreviare notevolmente i tempi di sghiacciamento. Alcuni tipi di contaminante, come la neve farinosa o la brina, possono essere facilmente rimossi rispettivamente usando una ramazza o passando una corda a contatto della superficie contaminata.

In ogni caso la pratica più frequentemente adottata nell'aviazione commerciale contempla l'uso di miscele di acqua e fluidi che hanno la capacità di abbassare il punto di congelamento (FPD): tra l'altro tali fluidi, opportunamente riscaldati, massimizzano la loro capacità di sghiacciamento. Nelle procedure antighiaccio, invece, è preferibile applicare i fluidi non riscaldati così da mantenere alta la loro viscosità e massimizzare il tempo di protezione.

Due procedure sono comunemente usate per combattere la formazione di ghiaccio al suolo: la procedura di sghiacciamento e quella antighiaccio.

Procedura di Sghiacciamento: questa operazione consente di rimuovere completamente ghiaccio, neve o brina dal velivolo per permettere l'involo con superfici prive di qualsiasi tipo di contaminazione.

Procedura Antighiaccio: questa operazione permette al velivolo di essere protetto da eventuali nuovi accumuli di particelle contaminanti sulle superfici dell'aeromobile per un limitato periodo di tempo: tale periodo è detto, con terminologia anglosassone *'holdover time'*. L'*'holdover time'* è funzione di alcune variabili: temperatura ambiente, temperatura superficiale del velivolo, vento, tipo di fluido, sua concentrazione e tipo di precipitazione; i predetti elementi influiscono sul rateo con cui la precipitazione è in grado di diluire la pellicola di fluido protettivo, fino a renderlo completamente saturo di particelle d'acqua e quindi inefficace. Per tener conto del tempo di protezione esistono delle tabelle specifiche denominate *'holdover time'*

tables: tali tabelle forniscono il tempo **stimato** di protezione, considerando ogni singola precipitazione di **media intensità**.

La procedura di sghiacciamento viene realizzata sempre in una singola fase (*'one step procedure'*), mentre la procedura antighiaccio può essere attuata in una od in due fasi (*'one or two step procedure'*).

Procedura antighiaccio in una unica fase ('one step anti-icing'): tale procedimento permette di sghiacciare la superficie dell'aeromobile e contemporaneamente di proteggerlo da ulteriori formazioni di particelle contaminanti. Ciò è ottenuto applicando il fluido antighiaccio caldo direttamente in un'unica soluzione sul velivolo. Il calore del fluido e l'energia cinetica con cui esso viene applicato sghiacciano le superfici dell'aeromobile, mentre la viscosità del fluido, anche se ridotta dall'alta temperatura, fornisce limitate capacità antighiaccio.

Procedura antighiaccio in due fasi ('two step anti-icing'): la prima fase - di sghiacciamento - è usata per rimuovere ogni tipo di contaminante congelatosi sul velivolo, la seconda fase - antighiaccio - invece prevede l'applicazione di un altro tipo di fluido per estendere al massimo il tempo di *'holdover'*.

Nella procedura appena descritta, il fluido antighiaccio è applicato prima che il fluido usato precedentemente per lo sghiacciamento si congeli, vanificando tale operazione: ciò normalmente avviene entro 3 minuti. La concentrazione del fluido antighiaccio applicato nella seconda fase è funzione dell'OAT, del tipo di precipitazione e dell' *'holdover time'* desiderato. La procedura antighiaccio in due fasi è quella che garantisce, come già accennato, il massimo *'holdover time'* possibile, tuttavia è sicuramente più lunga e costosa di quella effettuata in una unica fase. Inoltre, nella procedura in due fasi è necessario seguire scrupolosamente le indicazioni dei fornitori dei fluidi, infatti alcuni fluidi antighiaccio non sono compatibili con altri utilizzati per lo sghiacciamento.

Il principio fondamentale su cui si basano i fluidi usati per proteggere i velivoli dalle avverse condizioni meteorologiche è la capacità di abbassare il punto di congelamento dell'acqua: tali fluidi, come già accennato, vengono detti *'Freezing Point Depressant'* o FPD. I fluidi specificatamente usati per lo sghiacciamento - fluidi di tipo I - manifestano un comportamento "newtoniano", mentre i fluidi di tipo II e IV, usati propriamente per il trattamento antighiaccio, presentano caratteristiche "non-newtoniane". Nei fluidi "newtoniani" la viscosità è funzione unicamente della temperatura (minore è la temperatura e maggiore è la viscosità), mentre per i fluidi "non-newtoniani" la viscosità è funzione della temperatura e degli sforzi di taglio (maggiori sono gli sforzi di taglio e minore è la viscosità). Questo implica che quando il velivolo è fermo o rulla la buona viscosità dei fluidi "non-

newtoniani" permette a tali sostanze di rimanere ben aderenti alle superfici dei velivoli, garantendo così la massima efficacia contro le formazioni di contaminanti mentre, non appena il velivolo inizia la corsa di decollo, all'aumentare della velocità e quindi degli sforzi di taglio, la viscosità di tali fluidi diminuisce, permettendo così agli stessi di abbandonare facilmente l'aeromobile. In sintesi i fluidi di tipo I, a causa del loro comportamento "newtoniano" e della loro limitata viscosità, sono prevalentemente usati come fluidi per lo sghiacciamento, mentre i fluidi di tipo II e IV, a causa del loro comportamento "non-newtoniano" e della loro elevata viscosità, sono prevalentemente usati come fluidi antighiaccio. Un'ultima nota che riguarda i fluidi di tipo IV è la seguente: tali fluidi non si spandono in maniera uniforme tanto facilmente quanto i fluidi di tipo II, per cui è essenziale controllare che tale prodotto abbia formato realmente una pellicola protettiva uniforme su tutta la superficie del velivolo prima di decollare.

L'esperienza ha dimostrato che la viscosità propria dei fluidi di tipo II è in grado di penalizzare in maniera apprezzabile le capacità portanti dei velivoli con basse velocità di rotazione. Perciò una nuova categoria di fluidi antighiaccio, classificati di tipo III, è stata realizzata. La capacità antighiaccio dei fluidi di tipo III, anch'essi dotati di caratteristiche "non-newtoniane", è compresa tra quella dei fluidi di tipo I e quella dei fluidi di tipo II. Tuttavia, rispetto ai fluidi di tipo II, i fluidi di tipo III sono di gran lunga meno viscosi e così possono essere eliminati facilmente durante la corsa di decollo anche da quei velivoli la cui velocità di rotazione non supera i 100 kias circa. Al momento, comunque, i fluidi di tipo III non sono commercialmente prodotti per cui, ancora, non vengono utilizzati.

Il tempo di *'holdover'* viene computato dal momento in cui inizia l'ultimo trattamento antighiaccio ed è fondamentale che il velivolo abbia già raggiunto la velocità di rotazione prima che tale tempo sia superato. Questo implica che la somma dei tempi richiesti per effettuare il trattamento antighiaccio, per rullare al punto attesa della pista in uso, per attendere l'autorizzazione all'allineamento ed al decollo e per effettivamente decollare, deve essere inferiore al tempo di *'holdover'* permesso. Tali tempi, soprattutto in aeroporti con alta densità di traffico, possono portare ad eccedere il tempo di *'holdover'* calcolato e ciò, generalmente, può comportare ulteriori ritardi. Nel caso poi il velivolo avesse avuto anche un tempo assegnato di partenza (*'slot time'*) tali ritardi possono provocare il mancato rispetto di tale *'slot'* e la necessità di coordinarne un altro con prevedibili disagi per il volo.

Quando l' *'holdover time'* previsto è stato superato, il comandante può decidere di rientrare alla piazzola prevista per un nuovo trattamento di sghiacciamento ed antighiaccio, o può procedere avvalendosi di un'ispezione per constatare ancora l'assenza di contaminante dalle superfici critiche di volo. Tali superfici possono essere osservate, ammesso che ciò sia possibile, dalla cabina passeggeri, ma potrebbe risultare comunque molto

difficile identificare le tracce di ghiaccio lasciate da una fine pioggia congelantesi magari in condizioni di penombra. Perciò, data l'importanza di tale controllo, esso, dove è possibile, dovrebbe essere svolto, da personale qualificato, esternamente ed in maniera tattile, con attenzione e senza farsi prendere dalla premura.

Se da questo controllo emerge che il fluido è ancora efficace il decollo deve comunque essere effettuato al più tardi entro i 5 minuti successivi; se, invece, si evince che il fluido ha perso la sua efficacia è obbligatorio posticipare il decollo per effettuare un altro trattamento antighiaccio completo. In ogni caso, è opportuno specificare che l'ultima parola in merito alla possibilità di decollare od alla necessità di rientrare alla piazzola di sghiacciamento è sempre di competenza del comandante del volo.

Com'è stato esposto, i fluidi descritti precedentemente sono concepiti per salvaguardare il velivolo dalle formazioni di contaminanti fino al momento in cui il velivolo non si stacca dal suolo. Durante la corsa di decollo tali fluidi abbandonano l'aeromobile e la protezione da eventuali formazioni di ghiaccio deve essere svolta dai sistemi antighiaccio installati sul velivolo. Quando le condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio esistono già durante il decollo, i sistemi antighiaccio motori e superfici dovrebbero essere rispettivamente attivati ed armati già durante il rullaggio. Nel momento in cui inizia l'involo anche questi ultimi devono entrare immediatamente in funzione per proteggere efficacemente le superfici del velivolo sin dalle fasi iniziali del decollo. In ogni caso anche in tale frangente seguire scrupolosamente le indicazioni specifiche del costruttore.

Come descritto in precedenza il trattamento antighiaccio, a prescindere dal tipo di fluido usato, lascia una sottile pellicola attorno alle superfici dell'aeromobile. Tale pellicola, purtroppo, penalizza le prestazioni di decollo anche se il velivolo, al momento dell'involo, risulta privo di qualsivoglia contaminante. Le penalizzazioni più significative sono state riassunte di seguito:

- Maggiore resistenza aerodinamica.
- Minore accelerazione.
- Distanze caratteristiche di decollo maggiorate

Naturalmente l'entità specifica di tali penalizzazioni dipende dal tipo di fluido usato, dalla sua concentrazione e dal tipo di velivolo.

Un'ultima nota riguarda il cosiddetto '*economical fuel*' ossia il quantitativo di carburante supplementare imbarcato unicamente per convenienza economica. Molti operatori, soprattutto se responsabili di velivoli con serbatoi di carburante annegati nella struttura alare, prescrivono di non attuare tale pratica se a destinazione esistono le condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio; tali condizioni, in genere, sono individuate dai seguenti parametri:

OAT uguale od inferiore a 10°C ed alta umidità relativa (temperatura di rugiada entro i 3°C dall'OAT e/o previsione di precipitazioni).

Inoltre, quando le condizioni atmosferiche sono tali, è raccomandabile rifornire di carburante caldo il velivolo: tale pratica infatti limita gli effetti dovuti al fenomeno del '*cold-soaking*' - descritto in precedenza - ed in sostanza riduce la possibilità di formazione di brina sull'ala. Inoltre, per massimizzare gli effetti benefici della suddetta operazione, è utile azionare le pompe carburante: quest'ultime provvederanno, una volta in funzione, a mescolare in breve tempo il carburante caldo con quello freddo presente ancora nel velivolo, al fine di ottenere rapidamente, all'interno del serbatoio, una distribuzione ottimale della temperatura di equilibrio.

9.5) Ghiaccio per induzione / aspirazione / espansione / cambiamento di stato

Usualmente i velivoli sono equipaggiati di varie prese d'aria (prese d'aria motori, prese dinamiche, prese di raffreddamento, prese d'aria per carburatori ed altre) in cui l'aria viene accelerata e quindi raffreddata. Questo implica che, nonostante la temperatura dell'aria prima del condotto sia superiore a 0°C, all'interno del condotto la temperatura dell'aria può abbassarsi fino a quella di congelamento: in tale caso, ed in presenza di alta umidità relativa, il vapore acqueo nell'atmosfera può trasformarsi in ghiaccio ed accumularsi fino ad occludere i predetti condotti.

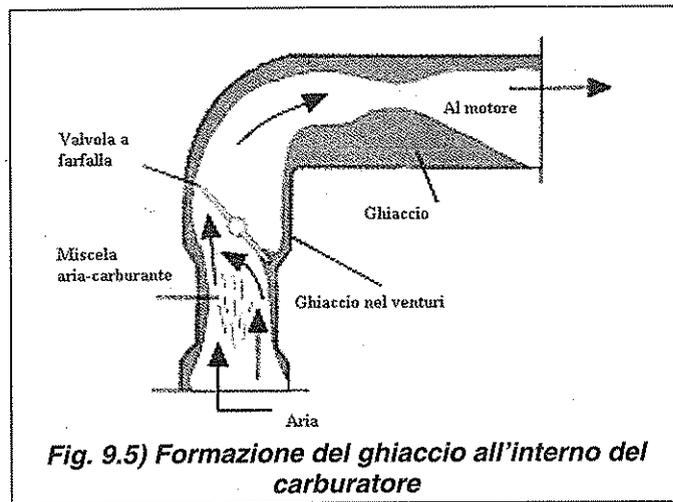
La formazione di ghiaccio al carburatore è un tipico esempio del suddetto fenomeno; data l'importanza del buon funzionamento del carburatore per i velivoli con motore a pistoni, tale componente normalmente è dotato di un dispositivo che convoglia l'aria calda dei gas di scarico all'interno del condotto di aspirazione, in maniera da scaldare l'aria esterna che si appresta ad attraversare il diffusore - costituito da un tubo di Venturi - e quindi scongiurare ogni possibile formazione di ghiaccio all'interno del carburatore. Esistono dei diagrammi specifici per aiutare i piloti di tali velivoli a decidere quando azionare questo sistema: tali grafici, mettendo in relazione la temperatura dell'aria con quella di rugiada, mostrano le condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio (maggiori dettagli verranno forniti nel paragrafo 9.6).

Per quanto concerne le prese d'aria motore è utile ricordare che il pericolo maggiore è rappresentato dal ghiaccio che si accumula sul "labbro" della presa d'aria stessa. Tale formazione, infatti, distorce il flusso aerodinamico riducendo così, nella migliore delle ipotesi, la prestazione del propulsore. Inoltre il ghiaccio può staccarsi, essere aspirato dal motore e provocare un improvviso spegnimento; per queste ragioni le prese d'aria in genere sono equipaggiate di sistemi atti a prevenire le formazioni di ghiaccio nelle suddette aree.

Un'ultima nota riguarda un fenomeno che era più frequente in passato: il congelamento del combustibile. Questo fenomeno è divenuto via via sempre meno frequente dal momento che la maggior parte dei combustibili vengono additivati con speciali sostanze che ne abbassano la temperatura di congelamento fino a circa -47°C . All'interno del combustibile, comunque, si possono sempre trovare in sospensione delle particelle d'acqua che sono responsabili delle possibili formazioni di ghiaccio all'interno dei reticoli dei filtri combustibile o sui gomiti delle relative tubazioni.

9.6) Ghiaccio al carburatore

9.6.1) Descrizione



La formazione di ghiaccio al carburatore, come già accennato, rappresenta un importante esempio di ghiaccio per aspirazione. La vaporizzazione del carburante e contemporaneamente, l'espansione che si verificano all'interno del tubo di Venturi provocano una brusca caduta della temperatura che è in grado di innescare il fenomeno. Il repentino abbassamento della temperatura (circa 20°C , 30°C) all'interno del carburatore trasforma il vapore acqueo presente nell'atmosfera in ghiaccio che gradualmente si può accumulare sia sul diffusore che, cosa ancora più importante, sulla valvola a farfalla, fino ad ostruirli (Fig. 9.5).

La graduale ostruzione del diffusore e/o della valvola a farfalla provoca inizialmente una perdita di potenza associata a ben distinti "borbottamenti", successivamente, se non vengono intraprese azioni correttive, il motore cessa di funzionare per mancanza di miscela.

Esistono documenti che testimoniano che formazioni di ghiaccio al carburatore sono state riscontrate durante discese con temperature esterne anche superiori ai 25°C ed umidità relativa anche del solo 30% o durante la crociera con temperature esterne intorno ai 20°C ed umidità relativa pari al 60%. In buona sostanza tale fenomeno, vista la marcata riduzione di temperatura che è in grado di provocare, può avvenire anche in giornate temperate e relativamente umide. Inoltre la formazione del ghiaccio al carburatore può, in particolari condizioni, avvenire in maniera così repentina che, se il pilota non applica immediatamente le dovute azioni correttive, il motore, soprattutto a bassi regimi, può facilmente spegnersi. Una volta che il motore si è spento per tale fenomeno, è molto difficile riavviarlo; in ogni caso, la sua riaccensione raramente è immediata e comunque tale ritardo potrebbe rivelarsi fatale.

9.6.2) Identificazione

La formazione di ghiaccio all'interno del carburatore è senz'altro più comune durante giornate rigide, ma, come descritto precedentemente, questo fenomeno, in funzione del regime motore e dell'umidità, può essere riscontrato anche in giornate relativamente calde. Quindi, per aiutare il pilota a determinare il potenziale rischio del verificarsi di tale fenomeno, si usa un diagramma appositamente studiato e denominato 'carburetor icing chart'. Questo grafico mostra le probabilità della formazione di ghiaccio nel carburatore, mettendo in relazione la temperatura esterna con quella di rugiada (Fig. 9.6).

Se la temperatura di rugiada non fosse disponibile il quantitativo di vapore acqueo presente, in caso di ridotta visibilità o terreno bagnato, è sicuramente adeguato per l'instaurarsi del fenomeno. Il 100% di umidità relativa può invece sicuramente riscontrarsi all'interno delle nubi, tra strati di nubi, alla base delle nubi, durante le precipitazioni ed in presenza di nebbia.

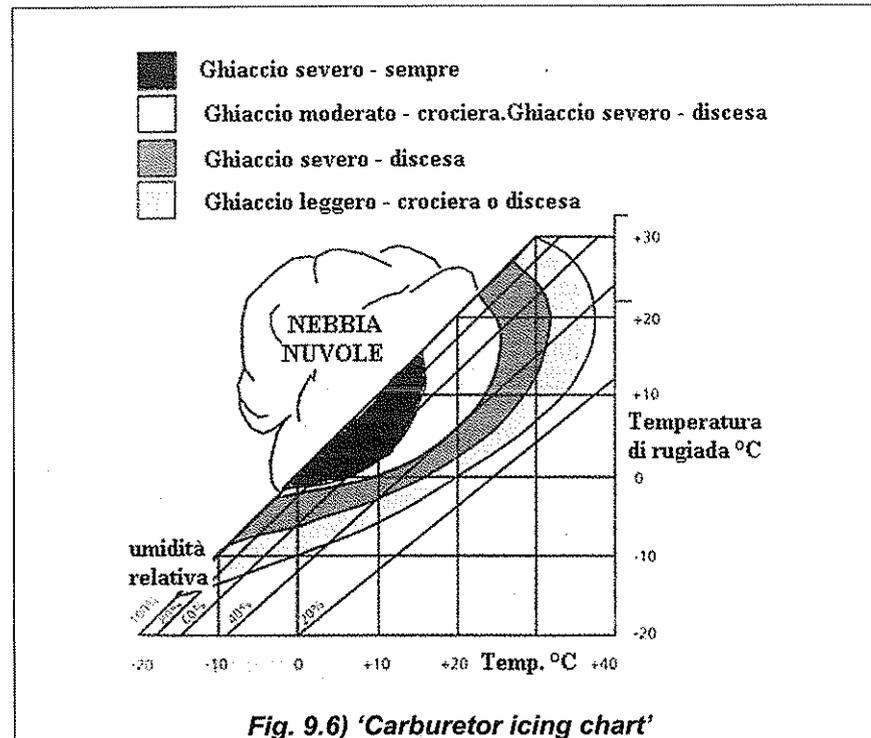
In un velivolo equipaggiato di elica a passo fisso, una lieve riduzione dei giri motore e della velocità di volo possono essere considerati come i primi sintomi della formazione di ghiaccio all'interno del carburatore. Tale calo inizialmente è molto graduale sicché il pilota, invece di fare mente locale sul fenomeno del ghiaccio al carburatore, istintivamente è portato ad aprire ulteriormente la manetta del gas per ripristinare i parametri desiderati.

Il costante accumulo del ghiaccio all'interno del carburatore provoca, come detto in precedenza, inizialmente riduzioni di potenza e di velocità, poi distinte vibrazioni e scuotimenti ed infine il motore inizia a "singhiozzare" fino al momento in cui cessa di funzionare.

In un velivolo equipaggiato di elica a giri costanti, i primi sintomi della formazione di ghiaccio all'interno del carburatore saranno invece denunciati dalla graduale riduzione della pressione di alimentazione, poiché il regolatore giri elica manterrà, fin quando possibile, i giri motore costanti.

9.6.3) Criteri di prevenzione

Durante la messa in moto ed il rullaggio il comando "aria calda al carburatore" dovrebbe essere tenuto nella posizione 'COLD'.



Durante la prova motore, il pilota deve sempre verificare il corretto funzionamento del sistema dell'aria calda al carburatore: muovendo la leva di comando in posizione 'FULL HOT' questi deve constatare una riduzione di potenza (100-200 rpm o 3"- 5" di pressione di alimentazione), quindi riportando la leva in posizione 'COLD' si dovrà verificare almeno il ripristino dei parametri motore originari. Nel caso, invece, il pilota dovesse rilevare un incremento di potenza rispetto al valore selezionato prima della prova, ciò sarà sufficiente a concludere che un certo accumulo di ghiaccio nel carburatore si sarebbe già

verificato nella fase di rullaggio. Successivamente, in simili condizioni atmosferiche, ricordarsi di dare aria calda al carburatore 5 secondi prima di iniziare la corsa di decollo; il decollo vero e proprio, comunque, deve essere sempre effettuato con il comando "aria calda al carburatore" in posizione 'COLD'.

Durante la salita e la crociera, invece, bisognerà far fluire aria calda all'interno del carburatore nel caso si operi in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio: il monitoraggio degli appropriati strumenti consentirà al pilota di comprendere l'efficacia delle azioni intraprese.

La discesa e l'avvicinamento iniziale sono fasi particolarmente critiche per ciò che riguarda tale fenomeno: ciò a causa della quasi completa chiusura della farfalla. Durante queste fasi di volo occorrerà usare l'aria calda al carburatore per lunghi periodi, inoltre mantenere il motore sempre sufficientemente caldo ripristinando, quando necessario, la potenza di crociera. Bisognerà inoltre mantenere l'aria calda al carburatore anche durante il circuito ed il tratto finale.

L'aria calda al carburatore deve essere rimossa poco prima dell'atterraggio ed in ogni caso, sia l'atterraggio che una eventuale riattaccata o ripartenza devono essere effettuati sempre con la leva "aria calda" in posizione 'COLD'.

9.6.4) Azioni di recupero

L'aria calda al carburatore dovrebbe essere selezionata quando:

- Si manifesta un calo di giri od una riduzione di pressione di alimentazione.
- Si opera in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio.
- In accordo alla tabella 'carburetor icing chart' esiste la possibilità di accumulare ghiaccio.

L'uso parziale dell'aria calda al carburatore è raccomandabile solo per quei velivoli che sono equipaggiati di termometri la cui sonda misura la temperatura del fluido all'interno del carburatore; in assenza di tale strumento ricordarsi di portare il comando fino al punto oltre il quale il motore inizia a "borbottare" poiché un'apertura inferiore del pomello dell'aria calda al carburatore potrebbe solo essere in grado di sciogliere momentaneamente il ghiaccio, ma il calore somministrato potrebbe non essere sufficiente a prevenire il righiacciamento del vapore acqueo altrove all'interno del carburatore. Ancora una volta, per queste operazioni, il pilota deve seguire scrupolosamente le procedure suggerite dal costruttore.

Un'ultima raccomandazione: si ricordi che immettere aria calda all'interno del carburatore comunque provoca una riduzione della potenza erogata dal motore. Ciò implica che quando il carburatore è parzialmente occluso dal ghiaccio ed il pilota apre il flusso di aria calda al carburatore, inizialmente, si risconterà un ulteriore calo di potenza e la situazione potrebbe apparire addirittura peggiorata. In questi casi, invece, bisogna resistere alla tentazione di portare la leva dell'aria calda in posizione 'COLD'; infatti, dopo circa 15 secondi, il carburatore risulterà completamente sghiacciato ed il motore, automaticamente, recupererà la potenza persa.

9.7) Ghiaccio all'elica

Le pale delle eliche dei velivoli vengono, normalmente, protette dalla formazione di ghiaccio da dei sistemi termoelettrici; nonostante ciò, è bene ricordare che comunque il ghiaccio può formarsi sulle pale delle eliche. Ciò è possibile quando:

- Il sistema di protezione non funziona correttamente.
- Si incontrano condizioni di ghiaccio classificate: "severe".
- Si opera a quote molto alte.

Le indicazioni più evidenti del manifestarsi di questo fenomeno sono costituite da vibrazioni, scuotimenti e/o colpi violenti provocati da frammenti di ghiaccio che, staccandosi dalle eliche, colpiscono la cabina; la formazione di ghiaccio sulle eliche, inoltre, fa sì che il velivolo necessiti di una maggiore potenza per mantenere i parametri desiderati. Di seguito si passerà ad analizzare i possibili casi sopra citati.

9.7.1) Sistema di protezione non funzionante

E' assai difficile capire se il sistema antighiaccio eliche non funziona correttamente, a meno che il velivolo non sia equipaggiato di una specifica strumentazione: un sintomo del possibile malfunzionamento del sistema potrebbe essere costituito dai colpi decisamente marcati od, in ogni caso, più marcati del solito che il ghiaccio provoca quando, staccandosi dalle eliche, urta la fusoliera.

9.7.2) Condizioni di ghiaccio "severe"

Per ottimizzare la disponibilità di energia elettrica a bordo le eliche, usualmente, vengono sghiacciate ciclicamente. Tuttavia, se il velivolo si trova ad operare in condizioni atmosferiche capaci di creare rapidamente consistenti accumuli di ghiaccio, il tempo che intercorre tra un ciclo di sghiacciamento ed il successivo potrebbe essere eccessivamente lungo

e non consentire così al sistema di sghiacciamento eliche del velivolo di riuscire a pulire completamente e/o adeguatamente le pale dei propulsori. Anche in tale caso il fenomeno potrebbe essere evidenziato dai colpi marcati che il ghiaccio provoca quando, staccandosi dalle eliche, colpisce la fusoliera; in queste circostanze inoltre, si potrebbero anche percepire delle vibrazioni di breve durata dovute ai momentanei squilibri nella distribuzione delle masse.

9.7.3) Quote molto alte

Le pale delle eliche vengono protette dalla formazione di ghiaccio limitatamente alle loro sezioni più interne e normalmente fino al 40%, 50% delle loro lunghezze. Il motivo di ciò è che l'estremità delle pale generano delle altissime velocità periferiche: tali velocità producono forze centrifughe così elevate da impedire alle particelle di ghiaccio di aderire stabilmente al profilo della pala. A quote elevate tuttavia, a causa delle temperature molto basse, i cristalli di ghiaccio riescono a formarsi rapidamente ed ad aderire anche alle estremità delle pale. In queste circostanze si possono verificare distacchi asimmetrici di frammenti di ghiaccio che generano, a causa degli squilibri inerziali, marcate vibrazioni: tale fenomeno però è, in genere, di breve durata.

9.8) Ghiaccio alle antenne e sonde strumentali

9.8.1) Ghiaccio alle antenne

Le antenne normalmente sporgono dalla fusoliera del velivolo e, per ridurre la resistenza, hanno la forma di un profilo alare con bassissimo spessore percentuale. Poiché i profili sottili hanno un alto E anche le antenne tendono ad accumulare ghiaccio molto facilmente: per questa ragione anche tali superfici sono, generalmente, dotate di sistemi che si oppongono alla formazione di ghiaccio.

La formazione di ghiaccio sulle antenne può provocare inizialmente la distorsione delle trasmissioni; successivamente, quando l'accumulo diventa cospicuo, il ghiaccio può modificare sostanzialmente il profilo aerodinamico dell'antenna e, in queste circostanze, tale superficie può addirittura iniziare a vibrare. Questo inconsueto tipo di vibrazione può sicuramente impensierire il pilota ma, cosa più importante, può provocare la rottura dell'antenna stessa e la perdita parziale o totale della capacità di rice-trasmissione; inoltre, i frammenti dell'antenna potrebbero colpire altre parti del velivolo danneggiandole: tutto ciò trasformerebbe una situazione già poco piacevole in una circostanza davvero complessa.

9.8.2) Ghiaccio al tubo di pitot

I tubi di pitot sono sonde molto delicate nei confronti del ghiaccio: infatti anche solamente dei piccoli cristalli di ghiaccio sarebbero in grado di

otturare i forellini di funzionamento di tali sonde. Tali ostruzioni sono in grado di causare errate indicazioni dei vari strumenti a capsula e possono provocare grave disorientamento all'interno della cabina di pilotaggio se non si pensa prontamente ad una simile eventualità (vedi nel Capitolo 11 l'incidente del B727 a Thiells). Per questo motivo i tubi di pitot sono dotati di resistenze elettriche che devono essere sempre in funzione durante il volo.

Per completezza di informazione va ricordato che anche le prese statiche sono protette dalla formazione di ghiaccio: in base al tipo di velivolo è possibile trovare, in genere, sistemi termoelettrici o più semplicemente, laddove ciò è possibile, dei condotti alternativi. Questi condotti, in comunicazione con la cabina di pilotaggio, vengono usati quando il volo è condotto in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio.

9.8.3) Ghiaccio alla sonda EPR

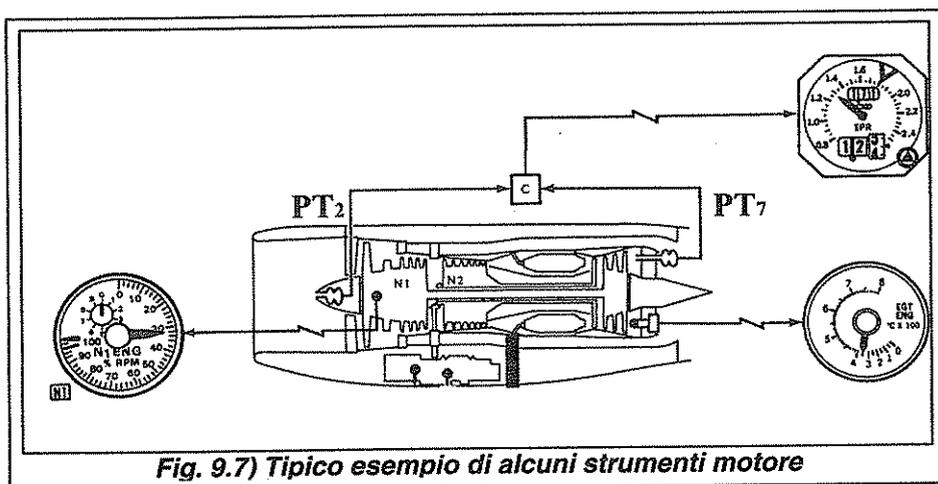


Fig. 9.7) Tipico esempio di alcuni strumenti motore

Normalmente i turboreattori sono equipaggiati di sonde che rilevano la pressione all'ingresso del compressore. Questo parametro, tra i molti usi, può essere messo in relazione con la pressione del gas all'uscita della turbina, per fornire al pilota una misura del valore di spinta che il propulsore sta erogando: tale valore è denominato EPR (Engine Pressure Ratio - Fig. 9.7) e normalmente è mostrato sul pannello strumenti motore, vicino al valore dei giri del compressore. Se le sonde poste all'interno della presa d'aria del motore dovessero ricoprirsi di ghiaccio, ad esempio per un'avaria al sistema antighiaccio, lo strumento dell'EPR inizierà ad indicare un valore di spinta maggiore rispetto a quello effettivamente erogato dal motore. Tutto ciò potrebbe indurre il pilota a ridurre la manetta del motore, provocando un deficit energetico

che in casi estremi potrebbe produrre preoccupanti riduzioni di velocità o potrebbe rendere un decollo, su pista "bilanciata", impossibile.

Come accennato in precedenza, il costruttore quando sceglie di mostrare in 'cockpit' lo strumento dell'EPR, normalmente mette a disposizione del pilota anche l'indicatore N1, ossia l'indicatore dei giri del compressore di bassa pressione. In tal caso, proprio l'indicatore N1 deve essere usato per determinare la presenza di ghiaccio sulla sonda EPR: infatti, quando il motore opera a valori massimi o fissi di EPR, l'N1 inizia gradualmente a diminuire a mano a mano che la sonda si ricopre di ghiaccio; invece, quando il velivolo opera a spinta costante, a parità di N1, l'EPR, come già detto, inizia ad aumentare.

9.8.4) Ghiaccio sulle alette indicatrici d'incidenza

Tali sensori, che in genere hanno la forma di un cuneo molto sottile o tronco di cono, grazie alla possibilità di ruotare liberamente attorno al proprio asse orizzontale, vengono installati per misurare l'angolo d'incidenza del velivolo. E' intuitivo comprendere che la formazione di ghiaccio su queste sonde ne altererebbe il principio di funzionamento e quindi la validità dei dati trasmessi. Per evitare ciò, anche tali sensori sono, normalmente, elettricamente riscaldati.

9.9) Contaminazione del blindovetro

Per consentire al pilota di avere una visibilità ottimale perfino in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, anche i blindovetri sono dotati di sistemi che contrastano l'accumulo di tale contaminante. Nei velivoli ad alte prestazioni, in cui la pressurizzazione e/o l'impatto di volatili possono generare cospicue forze sul trasparente, tali sistemi, in genere, sono costituiti da una pellicola termoelettrica annegata nel vetro. Non appena la corrente fluisce attraverso la pellicola, essa si riscalda, produce un aumento di temperatura del blindovetro che, oltre ad impedire ogni formazione di ghiaccio sul trasparente, ne aumenta la robustezza ed elasticità. Nei velivoli a basse prestazioni, invece, questi sistemi sono spesso costituiti da una serie di forellini che lasciano transitare un getto di aria calda che lambisce il blindovetro e ne aumenta la sua temperatura. Un'altra soluzione, sempre per velivoli dalle prestazioni limitate, può essere rappresentata da particolari fluidi che, applicati direttamente sul trasparente, abbassano il punto di congelamento dell'acqua che dovesse colpire il blindovetro.

10) LE OPERAZIONI DI VOLO

10.1) Introduzione

In un tipico scenario operativo in cui l'equipaggio si appresta a far fronte a condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio al suolo ed/od in volo, è necessario effettuare un certo numero di considerazioni ed azioni per poter garantire adeguati margini di sicurezza: alcune possono andar bene per la maggior parte dei velivoli, altre invece si attagliano specificatamente ad un certo tipo di aeromobile. Una lista dettagliata quindi, risulterebbe esaustiva ed appropriata, probabilmente, per un solo tipo di velivolo e contemporaneamente incompleta ed inadeguata per tutti gli altri: infatti è evidente che le azioni svolte a bordo di un B747, durante le operazioni condotte in condizioni meteorologiche avverse, potrebbero essere in parte differenti rispetto a quelle effettuate su un MD80; ciò è maggiormente vero se si pensa alle azioni che, in tali condizioni, devono essere effettuate dall'equipaggio di un MD11 rispetto a quelle svolte dall'equipaggio di un ATR72 o di un S-205.

TUTTO CIO' PER SOTTOLINEARE CHE, A PRESCINDERE DALLE CONSIDERAZIONI ED AZIONI DESCRITTE NEI PARAGRAFI SEGUENTI, LA MANIERA OTTIMALE PER OPERARE IN CONDIZIONI FAVOREVOLI ALLA FORMAZIONE DI GHIACCIO E' CONOSCERE CHE TIPO DI CERTIFICAZIONE DETIENE L'AEROMOBILE, COMPRENDERE APPROFONDITAMENTE LE PROCEDURE CONTENUTE NEL MANUALE DEL VELIVOLO (A.F.M.) CONCERNENTI TALI OPERAZIONI E RICEVERE UN COMPLETO BRIEFING METEO ED/OD UNA DOCUMENTAZIONE METEOROLOGICA ESAURIENTE.

Effettuata questa puntualizzazione, si passerà ora ad esaminare le considerazioni ed azioni che nelle suddette condizioni atmosferiche possono essere ritenute valide dalla maggior parte dei velivoli da trasporto. Esse sono state analizzate suddividendo, per motivi didattici, un tipico volo nelle varie fasi caratteristiche; perciò le fasi che verranno trattate nei paragrafi seguenti sono:

- **Analisi della situazione meteorologica.**
- **Pre-volo.**
- **Rullaggio.**
- **Decollo.**
- **Salita.**
- **Crociera.**
- **Discesa.**
- **Avvicinamento ed atterraggio.**

10.2) Analisi della situazione meteorologica

10.2.1) Considerazioni generali

L'analisi della situazione meteorologica rappresenta certamente uno dei momenti più importanti della pianificazione di ogni volo: ricevere un briefing meteo completo ed/od entrare in possesso di una documentazione meteorologica adeguata sono operazioni routinarie che ogni pilota dovrebbe effettuare prima di accingersi ad andare in volo. Tali operazioni pre-volo possono rivelarsi ancora più determinanti nel caso di tempo avverso in cui si prevedono, o addirittura sono riportate, condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio.

Informazioni meteorologiche adeguate aiutano sicuramente il pilota a pianificare più correttamente il proprio volo: ad esempio apprendere che, sin dal decollo, è possibile aspettarsi probabili formazioni di ghiaccio influenzerà l'entità della spinta che l'equipaggio si appresta ad utilizzare in questa delicata fase di volo; o ancora basti pensare alle considerazioni, in merito alla possibile avaria ad un motore, che, secondo la Certificazione, un pilota deve effettuare pianificando un volo la cui rotta prevede l'attraversamento di un'alta catena montuosa potenzialmente interessata da fenomeni meteorologici non trascurabili. Inoltre, nel caso di velivoli che non possiedono una certificazione antighiaccio, una documentazione meteorologica adeguata può sicuramente aiutare l'equipaggio ad evitare le aree che sono interessate da condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, magari pianificando una rotta differente o semplicemente un livello di volo diverso.

Infine, un'ultima considerazione concernente i voli notturni: in tale circostanza se sono previste condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, non dimenticare di portare con sé una torcia elettrica. Quest'ultima, che dovrebbe essere sempre a disposizione di ogni pilota, può essere utile, ad esempio, per identificare, già nelle primissime fasi, le tracce di contaminante che si accumulano sul tergicristallo del blindovetro; questo, infatti, costituisce uno dei primi punti in cui è possibile prendere atto dell'inizio della formazione di ghiaccio sul velivolo.

10.2.2) Azioni principali

Ricevere un completo briefing meteo ed/od una documentazione meteorologica esauriente. Tutto ciò implica alcune azioni tra cui le più importanti possono essere le seguenti:

- **RACCOGLIERE I METAR/TREND E TAF** di tutti gli aeroporti di interesse, includendo anche quelli lungo ed in prossimità della rotta

pianificata: questo potrebbe rivelarsi utile per una eventuale ripianificazione della rotta.

- **RACCOGLIERE I SIGMETS E GLI AIRMETS:** questi avvisi notificheranno all'equipaggio le aree dove si prevedono o sono state riportate moderate o severe formazioni di ghiaccio.
- **RACCOGLIERE TUTTI I PIREPS** disponibili; inoltre tenere sempre in debita considerazione che tipo di aeromobile pilotava l'equipaggio che ha inoltrato tale messaggio.
- **RACCOGLIERE LE CARTE DEL TEMPO SIGNIFICATIVO:** questo è uno strumento utile per identificare le zone in cui è possibile trovare condizioni di tempo perturbato o favorevoli alla formazione di ghiaccio.
- **RACCOGLIERE TUTTI GLI SNOTAMS E TUTTI I MESSAGGI CONCERNENTI LO STATO DI AGIBILITA' DELLE PISTE DISPONIBILI; INOLTRE PRENDERE NOTA DEL LIVELLO DELLO ZERO TERMICO:** queste ulteriori informazioni, oltre a completare il panorama meteorologico in atto, potrebbero rivelarsi utili nel caso dovesse concretizzarsi la necessità di formulare una pianificazione alternativa.

10.3) Pre-volo

NOTA: Questa fase, per motivi didattici, riguarda le considerazioni generalmente formulate prima della messa in moto dei motori.

10.3.1) Considerazioni generali

Nelle operazioni condotte in avverse condizioni meteorologiche il "giro esterno" deve essere effettuato con particolare cura. L'attuale regolamentazione aeronautica infatti, in ogni sua pubblicazione, ribadisce che il principio fondamentale su cui si devono basare tali operazioni è il concetto di "ala pulita" (*'clean wing concept'*): nessun compromesso è accettabile! Questo significa che nessuna traccia di neve, brina o ghiaccio deve aderire alle ali, allo stabilizzatore, alla deriva od a tutte le superfici di comando e controllo. Ugualmente nessuna traccia di contaminante deve essere trovata su blindovetri, eliche, motori, prese d'aria, sonde statiche o dinamiche. Per completezza d'informazione, in merito alla presenza di brina sul ventre dell'ala, va puntualizzato che solamente una piccola quantità di tale contaminante, purché entro le tolleranze specificate dal costruttore, può essere tollerata. E' intuitivo comprendere, quindi, che solo un accurato "giro esterno" può rispondere in maniera appropriata a tali esigenze. Un'accurata ispezione esterna, soprattutto ad ognuna di quelle parti menzionate precedentemente, sarà utile al pilota per capire se il velivolo potrà operare in sicurezza così com'è o se, al contrario, necessiterà della procedura di sghiacciamento.

Nelle operazioni in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio l'ispezione esterna implica che alcune parti del velivolo, non solo devono essere accuratamente osservate, ma anche materialmente toccate: ad esempio, solo toccando il dorso dell'ala il pilota potrà accorgersi della presenza del ghiaccio vitreo. Tale controllo, comunque, dovrebbe essere eseguito solo dopo che il velivolo è stato rifornito; a tale proposito, la maggior parte dei velivoli, per facilitare l'individuazione del ghiaccio, ha sul dorso dell'ala, in prossimità della radice, dei triangoli gialli con dei cordoncini montati al centro denominati *'tuft'*. Inoltre, durante il "giro esterno", porre particolare attenzione al carrello di atterraggio: osservare accuratamente il carrello principale, il carrello anteriore, i portelloni, i pacchi frenanti in modo da attuare, in caso di contaminazione, tutte quelle azioni che possono ripristinare la piena funzionalità di tali apparati.

In condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio non dimenticare di accendere anticipatamente, generalmente già all'inizio dei controlli di cabina, i sistemi di riscaldamento dei blindovetri, delle prese statiche e dinamiche, in modo da essere sicuri che tali componenti abbiano raggiunto l'appropriata temperatura di esercizio prima del decollo. In tali circostanze avvisare anche il personale di terra riguardo alla suddetta procedura: questa accortezza dovrebbe evitare dolorose scottature!

Effettuare i controlli completi dei comandi di volo e dei trims; inoltre eseguire un'escursione completa dei flaps/slats: questo controllo dovrebbe essere sicuramente fatto dopo aver effettuato, se necessario, la procedura di sghiacciamento/antighiaccio. Poi, nei velivoli dove ciò è previsto dal costruttore, compiere un controllo completo dei sistemi dedicati alla protezione dell'aeromobile dal ghiaccio.

Infine, nel caso si decidesse di non effettuare al parcheggio la procedura di sghiacciamento, assicurarsi che le prese d'aria, le gondole dei motori e tutte le zone limitrofe siano libere da ogni accumulo di contaminante che, all'avviamento, potrebbe essere ingerito e danneggiare così il motore.

10.3.2) Considerazioni sulle procedure di sghiacciamento ed antighiaccio

Una volta terminata l'ispezione esterna pre-volo l'equipaggio dovrebbe avere il quadro completo delle condizioni di contaminazione del velivolo così da poter decidere, con cognizione di causa, se l'aeromobile necessita della procedura di sghiacciamento/antighiaccio o meno.

A volte la nebbia o semplicemente l'aria ricca di umidità possono provocare della brina intorno ad ali la cui temperatura superficiale è prossima allo zero o negativa. Alcuni velivoli sono particolarmente vulnerabili a tale fenomeno (denominato, come già accennato nel Cap.9,

del 'cold soaking'): gli aeromobili particolarmente esposti sono tutti quelli che hanno i serbatoi a diretto contatto con il rivestimento superficiale dell'ala. In tali velivoli la temperatura dell'ala è in grande misura influenzata da quella del combustibile e, dato che tale fluido ha un calore specifico maggiore rispetto a quello dei materiali che normalmente rivestono l'ala, tale superficie, soprattutto dopo un lungo volo condotto ad alta quota, può continuare a permanere ancora per svariato tempo dopo l'atterraggio a temperature negative anche se, al suolo, la temperatura esterna è positiva. Se, in tali condizioni, il velivolo è esposto a dell'aria con un alto tasso di umidità, brina e persino ghiaccio possono formarsi intorno all'ala. Tali contaminanti debbono essere rimossi prima che il velivolo inizi la corsa di decollo e, sempre che l'aeromobile non sia anche sottoposto a precipitazioni congelantesi, la semplice procedura di sghiacciamento può essere ritenuta soddisfacente.

Quando è necessario attuare unicamente la procedura di sghiacciamento, usualmente vengono utilizzati i fluidi di tipo I; essi sono generalmente diluiti con acqua e spruzzati caldi per conseguire il massimo risultato. Un rapporto di diluizione pari al 50% di acqua e 50% di fluido, in genere, assicura la più bassa temperatura di congelamento ottenibile con tali prodotti: tale valore è intorno a -50°C e comunque è di gran lunga inferiore rispetto alla temperatura di congelamento ottenibile unicamente applicando i fluidi di tipo I non diluiti. Inoltre i fluidi di tipo I diluiti con acqua risultano meno viscosi e la ridotta viscosità consente, a tale miscela, di abbandonare l'aeromobile già nelle prime fasi della corsa di decollo: ciò porta grandi benefici durante tale fase, in quanto la riduzione delle prestazioni risulta la minima possibile. L'inconveniente di tale procedura è che i tempi di 'hold-over' sono limitati: essi generalmente non superano i 10-15 minuti in funzione del tipo di precipitazione e OAT. In effetti, se il velivolo è sottoposto a precipitazioni congelantesi il procedimento più indicato è sicuramente quello che prevede l'applicazione della procedura antighiaccio in due fasi.

Se è necessario attuare la procedura antighiaccio, è cruciale tener conto che questo tipo di trattamento può essere eseguito solamente su superfici completamente prive di contaminante: in tale caso perciò il velivolo deve essere preventivamente sghiacciato. Quando è indispensabile mettere in atto la procedura antighiaccio usualmente vengono utilizzati i fluidi di tipo II o IV e possono essere applicati sia freddi che caldi. In generale questi fluidi sono persistenti, molto viscosi ed hanno temperature di congelamento di gran lunga inferiori allo 0°C . Quando vengono spruzzati, grazie alle citate caratteristiche, formano un 'film' che ricopre uniformemente e tenacemente il velivolo. Tale pellicola, simile ad un 'gel', assorbe la neve o le altre precipitazioni e, in virtù delle bassissime temperature di congelamento, impedisce la formazione di

ghiaccio sul velivolo. L'assorbimento delle molecole d'acqua provoca una sempre maggiore diluizione di tali fluidi e, conseguentemente, un graduale e continuo innalzamento della temperatura di congelamento del composto, fino a quando, allo scadere del tempo di 'hold-over', il composto totalmente diluito non risulta più efficace ed inizia perciò a congelarsi. Per questi motivi i fluidi di tipo II sono generalmente diluiti con solo una piccola percentuale d'acqua e, in condizioni atmosferiche estreme, sono applicati addirittura non diluiti: in sintesi, maggiore è la viscosità, ossia minore è la percentuale d'acqua che diluisce il fluido, e maggiore è il tempo di 'hold-over'. Ciò non vuol dire che è conveniente e/o corretto applicare sistematicamente fluidi di tipo II non diluiti: infatti, è vero che una maggiore viscosità assicura una protezione per un periodo più lungo, ma è anche vero che il velivolo paga la maggiore viscosità in termini di prestazioni di decollo. Una viscosità di gran lunga superiore alle necessità imposte dalla situazione meteorologica in atto, aumenta oltremodo gli sforzi tangenziali durante la corsa di decollo penalizzando indebitamente il velivolo. Quando l'equipaggio si appresta ad effettuare un volo in avverse condizioni meteorologiche è essenziale calcolare i dati di decollo, facendo riferimento ad ogni informazione ed/od indicazione fornita dal costruttore: ad esempio, dopo una qualsiasi procedura antighiaccio è proibito, in genere, il decollo a spinta ridotta o nel caso di pista contaminata bisogna far riferimento, se disponibili, alle tabelle SSW o ancora, valutare, oltre all'uso della spinta piena, anche l'eventualità di utilizzare, se possibile, una posizione dei flaps più idonea o infine, nel caso sia necessario attivare, sin dal decollo, i sistemi antighiaccio del velivolo, calcolare le penalizzazioni arrecate da tale esigenza. Inoltre, quando è necessario mettere in funzione anche il sistema antighiaccio motori, gli equipaggi dei velivoli la cui spinta di decollo si basa sugli indicatori EPR dovrebbero calcolare anche l'N1 minimo, per avere la garanzia che le prestazioni calcolate vengano, durante la corsa di decollo, effettivamente rispettate.

10.3.3) Azioni principali

- **EFFETTUARE UN'ACCURATA ISPEZIONE ESTERNA:** in particolare osservare attentamente tutte le superfici aerodinamiche, le superfici di comando e controllo, le sonde statiche, quelle dinamiche, le prese d'aria, l'apparato propulsore, il carrello d'atterraggio, i trasparenti dei piloti;
- **COORDINARE, SE NECESSARIO, LO SGHIACCIAMENTO VELIVOLO E L'EVENTUALE APPLICAZIONE DEI FLUIDI ANTIGHIACCIO;** dopo la procedura antighiaccio registrare i dati fondamentali sul quaderno tecnico del velivolo; essi sono: l'orario dell'inizio dell'ultima applicazione, il tipo di fluido usato e la

percentuale di diluizione applicata. Infine calcolare il tempo di 'hold-over';

- **ACCENDERE BEN IN ANTICIPO I SISTEMI RISCALDAMENTO BLINDOVETRI, PRESE STATICHE E DINAMICHE;**
- **CALCOLARE I DATI DI DECOLLO** in funzione delle reali condizioni atmosferiche;
- **EFFETTUARE UNA VERIFICA ACCURATA DI TUTTE LE SUPERFICI DI COMANDO E CONTROLLO;** ciò comprende un'escursione completa dei comandi di volo, un'escursione completa dei trims ed un ciclo completo dei flaps/slats;
- **ESEGUIRE, SE RICHIESTO DAL COSTRUTTORE, UNA PROVA COMPLETA DEI SISTEMI ANTIGHIACCIO PRIMA DI INIZIARE UN VOLO IN CONDIZIONI FAVOREVOLI ALLA FORMAZIONE DI GHIACCIO.**

10.4) Rullaggio

NOTA: QUESTA FASE, PER MOTIVI DIDATTICI, RIGUARDA LE CONSIDERAZIONI GENERALMENTE FORMULATE DOPO LA MESSA IN MOTO DEI MOTORI.

10.4.1) Considerazioni generali

Prima della messa in moto durante avverse condizioni atmosferiche, in funzione delle innumerevoli variabili (tipo di aeromobile, suo parcheggio, stato delle vie di rullaggio, tipo di fenomenologia meteorologica in atto, etc.), l'equipaggio dovrebbe valutare quando avviare i motori ed eventualmente quali precauzioni adottare. Se, ad esempio, un velivolo 'wide-body' deve eseguire l'operazione di 'push-back' su un piazzale scivoloso, potrebbe risultare opportuno posticipare la procedura di messa in moto dei motori fino a quando il 'push-back' risulti completato o diversamente, il trattore potrebbe iniziare a slittare sulla pavimentazione ricoperta di contaminante. In ogni caso, a prescindere dal tipo e dalla dimensione del velivolo, prima della messa in moto assicurarsi che l'area circostante sia sgombra e "pulita" in modo da evitare ogni pericolo di FOD.

Nel caso di messa in moto in condizioni atmosferiche particolarmente rigide, seguire scrupolosamente le indicazioni del costruttore. Dopo l'accensione, in condizioni meteorologiche simili, ad esempio, l'equipaggio potrebbe riscontrare che la pressione dell'olio motore eccede temporaneamente i valori di normale esercizio o che i sensori del circuito carburante provocano l'accensione di alcune spie che poco dopo potrebbero spegnersi; quindi in giornate particolarmente fredde, lasciare che tutti i parametri motore si stabilizzino all'interno dei valori di normale funzionamento prima di aumentare la spinta/potenza; ciò può richiedere 4, 5 min o più, in funzione delle caratteristiche del motore e della OAT.

Dopo aver effettuato un opportuno riscaldamento motore ed aver controllato che tutti i parametri siano all'interno dei valori di normale funzionamento, si potrà iniziare, con precauzione, il rullaggio; controllare subito l'efficacia dei freni e dello sterzo, inoltre frenare inizialmente più volte per essere sicuri che nessun deposito contaminante possa aderire ai pacchi frenanti.

Nel caso di pioggia intensa, di precipitazioni congelantesi o di pista contaminata lasciare, se possibile, l'APU in moto fino al completamento della fase di decollo: durante tale fase infatti, l'APU potrebbe costituire un'ulteriore fonte pneumatica e/o di elettricità tale da poter sicuramente agevolare il compito dell'equipaggio durante una situazione di emergenza provocata, ad esempio, da uno spegnimento motore, per ingestione d'acqua od ancora da una perdita di spinta o uno stallo al compressore, per ingestione di ghiaccio o neve.

Effettuare, se necessario, il rullaggio con l'impianto antighiaccio motore in funzione ed il sistema antighiaccio superfici acceso od "armato": il manuale del velivolo specificherà quando e come utilizzare tali apparati; in generale, sui velivoli da trasporto di medie/grandi dimensioni, il funzionamento di tali impianti si basa sull'uso di aria calda spillata dal compressore dei motori e ciò, riducendo inevitabilmente le prestazioni dei propulsori, dovrà essere tenuto debitamente in considerazione durante il calcolo dei dati di decollo. Inoltre periodicamente, secondo le indicazioni del costruttore, aumentare i giri del motore in maniera tale da garantire l'assenza di qualsiasi formazione di ghiaccio o neve in prossimità delle o sulle aree critiche dei motori; quando ci si appresta ad effettuare tale procedura assicurarsi che l'area dietro al velivolo sia sgombra o, in caso di dubbio, posticipare tale operazione fino a quando il velivolo non risulti allineato in pista.

Sui velivoli di minori dimensioni anche gli impianti termo-elettrici possono essere utilizzati per impedire la formazione di ghiaccio sul bordo d'entrata delle superfici aerodinamiche, eliche, prese d'aria, etc.. In simili realizzazioni non è insolito riscontrare interruttori terra-aria o procedure particolari del costruttore che impediscano l'utilizzo di tali sistemi a terra dove l'effetto 'ram' è praticamente assente: è importante ricordare, infatti, che l'uso improprio del sistema antighiaccio superfici a terra od in volo può seriamente danneggiare l'impianto o comunque deformare le superfici.

Durante il rullaggio poi, è importante controllare la temperatura del combustibile. In precedenza, prima di effettuare il rifornimento, l'equipaggio avrebbe già dovuto assicurarsi se il combustibile fosse stato

additivato con sostanze in grado di abbassarne il punto di congelamento e se il massimo quantitativo di acqua, per unità di combustibile, rispettasse i limiti previsti. In poche parole il pilota dovrebbe conoscere il tipo di combustibile imbarcato e la sua temperatura di congelamento. La maggior parte dei combustibili per motori a reazione, ad esempio, contengono già degli additivi che portano la temperatura di congelamento intorno ai -47°C . Nel caso invece, sia unicamente disponibile combustibile non additivato, rispettare le eventuali limitazioni indicate dal costruttore o aggiungere, secondo le percentuali prescritte, dei prodotti specifici nel combustibile, in maniera tale da ottenere il punto di congelamento previsto.

In ogni caso, anche se il combustibile imbarcato è stato additivato e rispetta, per quanto concerne l'aspetto igroscopico, le percentuali previste, è essenziale che, prima di iniziare la corsa di decollo, la temperatura del combustibile sia sopra lo 0°C ; diversamente, le residue particelle di acqua presenti nei serbatoi potrebbero, a tale temperatura, congelarsi, intasare il filtro del combustibile e potenzialmente creare problemi durante il decollo. Se la temperatura del combustibile è sotto 0°C , azionare, se disponibile, il circuito di riscaldamento e, prima di iniziare la corsa di decollo, osservare che la temperatura del combustibile abbia raggiunto, anche se solo momentaneamente, valori maggiori di 0°C . Tuttavia se il circuito di riscaldamento combustibile si basa su un flusso di aria calda spillata dal compressore, l'equipaggio dovrebbe attendere che tale operazione si sia conclusa, prima di iniziare il decollo. Il rispetto di questa procedura, infatti, assicura che tale fase di volo sia eseguita senza alcun tipo di spillamento in corso e quindi senza alcun tipo di penalizzazione delle prestazioni di decollo ed inoltre, tutela l'equipaggio da eventuali avarie al *'timer'* del circuito riscaldamento carburante. Questa avaria è molto pericolosa: infatti, in molti motori a reazione, il combustibile è utilizzato per raffreddare l'olio lubrificante e se il *'timer'*, a causa di un'avarìa, non interrompe il flusso di aria che è adoperato per riscaldare il combustibile, la temperatura di tale fluido continuerà, coerentemente ed in modo abnorme, ad aumentare impedendo così che il radiatore olio-combustibile svolga adeguatamente la propria funzione. Quindi, nella maggior parte dei casi, una simile avaria provoca un aumento della temperatura dell'olio lubrificante che, superati i limiti massimi consentiti, obbliga l'equipaggio a spegnere il motore; come accennato in precedenza, il rispetto delle procedure imposte dal costruttore, anche in tali circostanze, aiuta l'equipaggio a gestire correttamente tali sistemi.

Nel caso di motori con carburatore, è fondamentale verificare, prima del decollo, l'efficacia del sistema "aria calda" al carburatore. Con un simile sistema infatti, in caso di giornate particolarmente umide - umidità relativa superiore al 70%, 80% - si ritiene utile sottolineare alcuni concetti: a

causa dell'espansione che l'aria subisce nel condotto del carburatore, la temperatura è in grado di abbassarsi anche di 30°C ; tale raffreddamento potrebbe portare la temperatura dell'aria all'interno del carburatore a temperature inferiori allo 0°C , provocando così la formazione di ghiaccio intorno al diffusore ed alla valvola a farfalla; tale fenomeno, se non viene prontamente rilevato ed interrotto può, alla lunga, portare anche all'arresto del motore. Purtroppo, a meno che il velivolo non abbia installato un termometro la cui sonda è posta proprio all'interno del carburatore, è molto difficile conoscere la temperatura dell'aria dentro tale dispositivo poiché, oltre ai molti fattori già citati, l'apertura della valvola a farfalla costituisce una delle variabili più determinanti: infatti, una valvola a farfalla completamente aperta (motore al massimo della potenza) provoca una riduzione di temperatura inferiore rispetto a quella causata dalla stessa valvola completamente chiusa (motore al minimo della potenza).

Per conoscere il corretto uso del dispositivo "aria calda al carburatore" è fondamentale fare riferimento al manuale specifico del velivolo; infatti, in funzione della particolare strumentazione (ad esempio termometro ubicato all'esterno piuttosto che all'interno del carburatore) che il costruttore decide di mettere a disposizione del pilota, questi dovrà utilizzare il citato dispositivo in modo parzialmente differente. In ogni caso, come vedremo meglio nei successivi paragrafi, è opportuno ricordare che, a prescindere dal particolare sistema installato sul velivolo, l'aria calda al carburatore deve essere rimossa, a prescindere dalle condizioni atmosferiche e/o OAT, sia durante il decollo che durante la fase finale dell'atterraggio.

Per quanto concerne le procedure di sghiacciamento e antighiaccio alcune considerazioni sono state già effettuate nel precedente capitolo. In questo paragrafo, invece, è importante sottolineare che prima di sottoporre il velivolo a tali procedure è necessario configurarlo correttamente; infatti in molti aeroporti quest'ultime si effettuano con l'APU e/o con i motori in moto. In tal caso, ad esempio, è sempre consigliabile sigillare il velivolo spegnendo l'impianto di condizionamento e chiudendo completamente la valvola di controllo della pressurizzazione. L'equipaggio deve ricordare alla squadra di terra di evitare di spruzzare il fluido di sghiacciamento/antighiaccio nella presa d'aria dell'APU mentre questa è in funzione. Inoltre riportare sempre, sulla documentazione tecnica prevista, il tipo di fluido usato, la sua percentuale di diluizione con l'acqua e l'orario di inizio dell'ultima applicazione di tale fluido. Tali dati sono utili infatti per poter calcolare il tempo di *'hold-over'* e per poter determinare quindi l'orario ultimo entro il quale il velivolo deve essere già in volo. Alla fine della procedura di sghiacciamento/antighiaccio riaprire, in primo luogo, la valvola per il controllo della pressurizzazione e, successivamente, riaccendere l'impianto di condizionamento.

Dopo aver riportato gli impianti di condizionamento e di pressurizzazione nella loro normale configurazione, effettuare una prova accurata dei comandi di volo: pertanto muovere completamente tutte le superfici di controllo verificando la loro consueta escursione e libertà di movimento, poi controllare allo stesso modo i 'trim' del velivolo e quindi effettuare un ciclo completo di estensione e retrazione dei flaps/slats. Al termine dei predetti 'test' portare lo stabilizzatore ed i flaps/slats nelle posizioni previste per il decollo. Assicurarsi che i dati di decollo pre-calcolati considerino le penalizzazioni che le procedure di sghiacciamento/antighiaccio, se effettuate, provocano alle prestazioni di decollo; inoltre, se le condizioni lo impongono, accertarsi che i dati di decollo tengano in debita considerazione anche l'eventualità che l'involo avvenga su pista contaminata e/o con il sistema antighiaccio superfici attivato. Infine è opportuno ricordare che le lunghe sequenze delle partenze, tipiche negli scali molto congestionati, possono far eccedere il tempo di 'hold-over' prima che il velivolo riesca a decollare; in tal caso, a prescindere dalle specifiche condizioni meteorologiche, se il periodo di 'hold-over' risulta scaduto o comunque in presenza di dubbi, richiedere un controllo tattile da parte di personale qualificato o procedere, nuovamente, verso la zona designata per essere sottoposti ad un altro trattamento di sghiacciamento/antighiaccio. Essere nuovamente sottoposti a tali procedure può comportare la necessità di dover coordinare un nuovo 'slot' di decollo e ciò, soprattutto negli 'hub', può provocare sensibili ritardi. Nonostante tali disagi, si ricordi che solamente un velivolo privo di ogni forma di contaminazione è in grado di garantire il decollo in piena sicurezza. Un ultimo avvertimento: se dall'ispezione tattile risulta che il fluido antighiaccio è ancora efficace, il decollo deve essere effettuato entro 5 minuti; nel caso ciò fosse impossibile, procedere verso la zona designata per essere sottoposti ad un nuovo trattamento.

10.4.2) Azioni principali

- **Attendere opportunamente per permettere ai PARAMETRI MOTORE di stabilizzarsi;** prima di aumentare la spinta/potenza lasciare il motore al minimo ed attendere che i parametri raggiungano i loro normali valori di funzionamento.
- **LASCIARE L'APU IN MOTO** se disponibile e se il decollo avviene su piste contaminate; poi, se non richiesto per altre necessità, spegnere tale motore una volta che la fase di decollo è terminata.
- **CONTROLLARE ATTENTAMENTE L'EFFICACIA DEI FRENI.**
- **EFFETTUARE UN CONTROLLO COMPLETO DEI COMANDI DI VOLO.** Tale verifica deve essere eseguita dopo la procedura di sghiacciamento/antighiaccio e deve comprendere la prova completa delle superfici di comando e controllo, quella dei 'trim' e l'escursione completa dei flaps/slats.

- **Rullare, se necessario, con l'impianto ANTIGHIACCIO MOTORE in funzione ed il sistema ANTIGHIACCIO SUPERFICI "armato" od acceso;** per l'uso e l'efficacia di tali sistemi attenersi meticolosamente alle indicazioni contenute nel manuale del velivolo.
- **PRIMA DEL DECOLLO, EFFETTUARE, SE NECESSARIO, UN CICLO DI RISCALDAMENTO COMBUSTIBILE;** per l'utilizzo del sistema riscaldamento combustibile seguire scrupolosamente le indicazioni del costruttore.
- **Nei motori a carburatore, CONTROLLARE IL SISTEMA "ARIA CALDA AL CARBURATORE"** durante la "prova motore"; anche in questo caso, seguire scrupolosamente le indicazioni del costruttore per l'uso di tale sistema.
- **Se necessario, SOTTOPORRE IL VELIVOLO ALLA PROCEDURA DI SGHIACCIAMENTO/ANTIGHIACCIO;** attenersi alle indicazioni del manuale del velivolo anche durante tale fase; configurare il velivolo correttamente e riportare, sulla documentazione tecnica, il tipo di fluido usato, la sua percentuale di diluizione e l'orario di inizio dell'ultimo trattamento. Calcolare anche il tempo di 'hold-over'.
- **Nei dati di decollo EFFETTUARE LE CORREZIONI PREVISTE PER LA PROCEDURA DI SGHIACCIAMENTO/ANTIGHIACCIO, PER DECOLLO CON I SISTEMI RISCALDAMENTO SUPERFICI INSERITI E PER PISTE CONTAMINATE.**
- **RULLARE CON PRECAUZIONE;** fare attenzione alle condizioni dei piazzali e delle vie di rullaggio. Considerare inoltre la possibilità che il velivolo possa contaminarsi, durante il rullaggio, anche con la neve e/o l'acqua alzata dal carrello.
- **Nel caso il tempo di 'HOLD-OVER' sia trascorso o per qualsiasi dubbio NON ESITARE A RICHIEDERE UN CONTROLLO TATTILE e/o A SOTTOPORRE IL VELIVOLO AD UN NUOVO TRATTAMENTO DI SGHIACCIAMENTO/ANTIGHIACCIO.**

10.5) Decollo

NOTA: Questa fase, per motivi didattici, riguarda le considerazioni che generalmente possono essere formulate al di sotto dei 1500 ft. Per quanto concerne i motori a carburatore tale fase comprende tutte le operazioni condotte fino a quando rimane applicata la potenza di decollo.

10.5.1) Considerazioni generali

Quando si viene autorizzati all'allineamento in pista l'equipaggio, se ancora non lo avesse attivato, deve accendere il radar meteorologico e valutare che tipo di precipitazione, turbolenza o, più in generale, quali condizioni atmosferiche potrebbe dover fronteggiare subito dopo il decollo. Questo tipo di controllo è vitale: si ricordi che nessun aeromobile

è certificato per volare all'interno di condizioni atmosferiche idonee a generare ghiaccio "severo" o temporali di forte intensità o comunque, più in generale, attraverso condizioni meteorologiche estremamente perturbate (severo 'windshear', forte turbolenza, etc.). Perciò l'accurata osservazione dell'immagine radar può sicuramente essere di grande ausilio per decidere se il decollo può essere effettuato o, al contrario, deve essere posticipato. Più semplicemente l'immagine radar potrebbe suggerire una rotta differente in grado di aggirare la parte più attiva della precipitazione: in tal caso non esitare a richiedere un'altra SID o ad informare l'ATC che, subito dopo il decollo, si necessita di un determinato vettore per evitare il mal tempo.

Durante un decollo in condizioni meteorologiche perturbate, come già accennato, attenersi alle disposizioni della propria compagnia ed a quelle del costruttore per quanto concerne le procedure di armamento e/o di attivazione dei vari sistemi antighiaccio disponibili. I parametri tipici che, generalmente, vengono utilizzati per valutare la possibilità di formazioni di ghiaccio sono i seguenti: OAT, temperatura di rugiada, precipitazioni o presenza di umidità visibile. Ad esempio alcuni costruttori specificano che è necessario utilizzare i sistemi antighiaccio quando la $OAT \leq +5^{\circ}C$ e la temperatura di rugiada è entro i $3^{\circ}C$ o quando la $OAT \leq +5^{\circ}C$ e l'umidità risulta visibile, come nel caso di nebbia o foschia. Le prestazioni di decollo e salita iniziale, calcolate al suolo prima di ogni volo, devono essere garantite, per i velivoli certificati FAR25, almeno fino a quando l'equipaggio non selezioni la spinta/potenza di salita: ciò normalmente può avvenire tra 400 e 1500 ft, in funzione delle procedure di compagnia. Quindi quando sono prevedibili formazioni di ghiaccio fino alla quota alla quale la spinta/potenza di salita viene selezionata, l'equipaggio non solo deve decollare con tutti i sistemi antighiaccio accesi od "armati", ma i dati di decollo dovranno riflettere anche le eventuali penalizzazioni prestazionali che tali sistemi possono causare in tutti i segmenti di decollo; a volte, in funzione della temperatura esterna, della temperatura di rugiada, delle precipitazioni, dell'altezza della base delle nubi, il pilota potrebbe anche decidere, al fine di ridurre le penalizzazioni, di decollare unicamente con i sistemi antighiaccio motori inseriti e posticipare l'inserimento dei sistemi antighiaccio superfici solo dopo aver selezionato la spinta di salita.

La maggior parte dei velivoli turbo-elica, certificati per attraversare condizioni meteorologiche favorevoli alle formazioni di ghiaccio, è equipaggiata con sistemi di sghiacciamento - normalmente pneumatici - installati sul bordo di attacco delle ali e dello stabilizzatore, mentre è dotata di sistemi antighiaccio - generalmente elettrici - per le prese d'aria dei motori. Per quanto concerne le eliche, i sistemi antighiaccio, generalmente, proteggono la parte più interna (circa il 50%) della

superficie di una pala, mentre il resto della superficie è privo di qualsiasi impianto; infatti le notevoli forze centrifughe che le estremità delle pale sono in grado di sviluppare impediscono, normalmente, al ghiaccio di aderire. Con tali aeromobili ed in caso di decollo in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio è pratica comune attivare i sistemi antighiaccio prima che il velivolo inizi ad accumulare tale contaminante; i sistemi di sghiacciamento invece, vengono attivati solo dopo la conferma che le prime tracce di questo pericoloso contaminante hanno iniziato ad aderire alle superfici dell'aeroplano. Per un decollo in tali condizioni atmosferiche poi, non dimenticare di considerare le penalizzazioni che l'uso di tali sistemi può comportare ai vari segmenti di decollo. Inoltre i turboelica di recente concezione, al fine di tenere conto della riduzione dell'efficienza aerodinamica dell'ala quando esposta a contaminazione, hanno degli impianti che, al momento della selezione di un particolare sistema di protezione dal ghiaccio, automaticamente diminuiscono l'angolo di incidenza a cui, in 'cockpit', si attivano i sistemi artificiali di avviso di stallo; inoltre tutto ciò obbliga l'equipaggio a selezionare delle velocità di decollo maggiori, al fine di mantenere immutato il margine di sicurezza tra tali velocità e quelle di stallo con ala contaminata. Per quanto concerne l'uso dei 'boots' pneumatici poi, si ricordi che questi, come altri sistemi di sghiacciamento, sono concepiti per eliminare il ghiaccio una volta che una certa quantità di tale contaminante abbia aderito al bordo di attacco dell'ala; dopo l'involo in condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio quindi, l'equipaggio, prima di azionare tali sistemi, dovrà constatare realmente l'inizio dell'accumulo di tale contaminante, valutarne la quantità e quindi decidere se attivare i 'boots'. Come di consueto, il manuale specifico del velivolo fornisce indicazioni precise su come funzionano tutti i suddetti sistemi e quando devono essere attivati.

Prima dell'inizio della corsa di decollo su piste contaminate o in condizioni meteorologiche avverse attivare le candele di accensione del motore; tale procedura, in verità adottata anche nei comuni decolli, tende a contrastare le spiacevoli conseguenze che potrebbero derivare dalla possibile ingestione, da parte dei motori, di ghiaccio o altro contaminante durante una fase di volo tanto delicata; inoltre nella maggior parte dei velivoli, per quanto concerne l'interruttore che sovrintende il circuito di accensione dei motori, i costruttori ne prevedono anche una specifica posizione per le operazioni condotte durante avverse condizioni meteorologiche o che comunque garantisca a tale impianto una migliore funzionalità: in tal caso si raccomanda, prima dell'inizio della corsa di decollo, la selezione di tale specifica posizione.

Durante le operazioni condotte in condizioni meteorologiche avverse le procedure di compagnia e/o il costruttore specificheranno quando è opportuno effettuare un decollo "statico", ossia un decollo in cui la spinta

è parzialmente applicata prima del rilascio dei freni. In generale è doveroso eseguire tale tipo di decollo quando la pista è contaminata, quando è necessario attivare il sistema antighiaccio motori, quando sono presenti condizioni di ridotta visibilità. E' interessante notare che dopo la procedura a terra di sghiacciamento o di antighiaccio, pur essendo generalmente vietato l'uso di spinte ridotte, nulla è specificato in merito al decollo "statico"; tuttavia, dato che generalmente tali procedure vengono adottate in coincidenza di precipitazioni congelantesi, di piste contaminate e/o, più in generale, di tempo perturbato, la pratica suggerisce che, in questi casi, è opportuno sempre adottare un decollo "statico": d'altra parte, nelle suddette condizioni meteorologiche, è bene adottare la soluzione più conservativa.

L'ultimo controllo prima di iniziare la corsa di decollo è, come di consueto, dedicato ai motori. Nelle operazioni condotte durante avverse condizioni meteorologiche tale controllo è ancora più importante, se mai ciò fosse possibile. Infatti se il decollo avviene in condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio, tale contaminante può accumularsi sulle prese d'aria dei motori, sulle palette fisse del primo stadio del compressore o magari sull'ogiva nella quale generalmente sono ubicate varie sonde di pressione. Per tali motivi ed in simili condizioni meteorologiche è fondamentale non solo attivare subito il sistema antighiaccio motore, ma, una volta allineati in pista, anche aumentare parzialmente i giri del motore, in maniera tale da garantire l'assenza di qualsiasi tipo di contaminante durante la successiva applicazione della spinta/potenza di decollo. Tale prova, per ciò che concerne i giri del motore e la sua durata, deve essere condotta seguendo le procedure che il costruttore fornisce nell'apposita documentazione; in ogni caso durante la suddetta prova è buona norma controllare attentamente i parametri motore e verificare l'assenza di qualunque indicazione o vibrazione anomala.

Subito dopo il rilascio dei freni applicare la spinta/potenza di decollo; quindi, accertarsi che i giri del motore raggiungano almeno il valore minimo, prescritto dal costruttore, che possa garantire il rispetto delle prestazioni di decollo. Tale controllo è irrinunciabile soprattutto se tali prestazioni si fondano su un livello di spinta specifico basato su determinati valori di EPR: in tal caso, infatti, ed in presenza di condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, i giri del compressore sono l'unico parametro in grado di garantire il livello di spinta richiesto. Naturalmente, in condizioni simili, l'equipaggio deve precedentemente calcolare il valore minimo dei giri motore e registrarlo sul cartellino dei dati di decollo in modo che questo possa essere facilmente consultato anche poco prima di iniziare una fase di volo tanto delicata.

Per quello che concerne invece i motori a carburatore, a prescindere dal valore della temperatura esterna o di qualsiasi altro fattore, la corsa di decollo deve essere sempre effettuata con il sistema aria calda al carburatore in posizione 'COLD'. Per i velivoli equipaggiati con tali motori tuttavia, la traiettoria di decollo è breve: generalmente essa termina tra i 500 e i 1000 ft allorché il pilota, avendo già represso completamente gli ipersostentatori e raggiunto la velocità ottima di salita, seleziona la potenza appropriata per tale fase di volo. Decollare con il sistema aria calda al carburatore in posizione 'COLD' è essenziale in quanto tale sistema, quando in funzione, ricircola aria calda dei gas di scarico all'interno del condotto del carburatore. Quindi, anche con la manetta completamente aperta, il minore rendimento volumetrico del motore provoca, se il propulsore non è dotato di particolari sistemi di sovralimentazione, una riduzione della potenza massima erogata. In ogni caso, a prescindere dalle predette considerazioni, attivare il sistema di aria calda al carburatore in decollo può essere molto pericoloso in quanto il motore non solo può iniziare a detonare, ma, in casi estremi, potrebbe anche incendiarsi.

Infine dopo il decollo su piste molto contaminate, quando tutti gli ostacoli sono stati superati, considerare l'opportunità di effettuare un riciclo del carrello. Tale procedura, oltre a favorire la completa rimozione di ogni eventuale residuo di contaminante che, durante la corsa di decollo, possa aver aderito al carrello, potrebbe aiutare ad impedire il congelamento dei portelloni di tale impianto durante il volo.

10.5.2) Azioni principali

- ATTIVARE IL RADAR METEOROLOGICO E VALUTARE LA SITUAZIONE;
- SE OPPORTUNO, ATTIVARE OD "ARMARE" I SISTEMI DI PROTEZIONE DAL GHIACCIO DEL VELIVOLO PRIMA DI RILASCIARE I FRENI;
- SE OPPORTUNO E PREVISTO, CONSIDERARE LE VELOCITA' DI DECOLLO MAGGIORATE ;
- POSIZIONARE L'INTERRUTTORE 'IGNITION' SU 'ON' O SU UNA POSIZIONE PIU' IDONEA, SE PREVISTA ;
- EFFETTUARE UN DECOLLO "STATICO" ;
- DURANTE LA CORSA DI DECOLLO, CONTROLLARE I PARAMETRI MOTORE E, PER QUANTO CONCERNE IL COMPRESSORE, IL RAGGIUNGIMENTO ALMENO DEI GIRI MINIMI PRE-CALCOLATI;
- DECOLLARE CON L'ARIA CALDA AL CARBURATORE IN POSIZIONE 'COLD';

- VALUTARE L'OPPORTUNITA' DI EFFETTUARE UN RICICLO DEL CARRELLO DI ATTERRAGGIO.

10.6) Salita

NOTA: Questa fase, per motivi didattici, riguarda le considerazioni che generalmente possono essere formulate al di sopra dei 1500 FT. Per quanto concerne i motori a carburatore tale fase comprende tutte le operazioni condotte fino a quando rimane applicata la potenza di salita.

10.6.1) Considerazioni generali

Anzitutto, per quanto concerne il radar meteorologico, le stesse considerazioni generali svolte nel paragrafo precedente sono valide anche per questa fase di volo; potrebbe però essere opportuno effettuare qualche riflessione aggiuntiva. Nel caso la SID prevista richieda cambi di prua di 45° o più ed anche se l'ultima immagine prodotta dal radar prima dell'inizio della virata risulti alquanto rassicurante, si raccomanda comunque di non spegnere tale strumento. Infatti, una volta completata la virata, la situazione meteorologica potrebbe rivelarsi decisamente più perturbata ed il radar meteorologico è sicuramente uno degli strumenti più indicati per verificare con adeguato anticipo se la nuova prua consenta o meno al velivolo di evitare la parte più attiva della perturbazione. Perciò, allorquando la situazione atmosferica è di difficile interpretazione, tenere il radar sempre acceso e, a mano a mano che il velivolo cambia prua, valutare la nuova immagine radar ed eventualmente comunicare al controllo del traffico aereo la necessità di assumere una rotta differente rispetto a quella autorizzata. Quindi, come il velivolo procede lungo la propria traiettoria di salita ed in funzione del tipo di radar installato a bordo, regolare l'angolo di *'tilt'* dell'antenna per ottenere immagini che rimangano, nel corso di questa fase di volo, sempre utilizzabili: perciò, a mano a mano che il velivolo sale, si consiglia di abbassare il *'tilt'* dell'antenna in modo tale che nella parte superiore dello schermo radar siano appena visibili gli echi del terreno.

Come già enunciato, quando si attraversa un'area meteorologica perturbata, attenersi alle disposizioni della propria compagnia ed a quelle del costruttore per quanto concerne l'uso dei vari sistemi dedicati alla protezione dal ghiaccio. I parametri tipici che generalmente vengono utilizzati per valutare la possibilità di formazioni di ghiaccio sono i seguenti: OAT, la presenza di nubi, precipitazioni o comunque di umidità visibile. Ad esempio alcuni costruttori specificano che è necessario utilizzare i sistemi antighiaccio quando la RAT $\leq +5^{\circ}\text{C}$ e l'umidità risulta visibile come nel caso di nubi, nebbia o foschia. Come regola generale, ogni qualvolta ci si appresta ad attraversare condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio, i sistemi antighiaccio motore e

superfici dovrebbero essere attivati prima di entrare in simili condizioni. Per ridurre l'impatto che tali sistemi possono avere sulle prestazioni di salita, alcuni operatori, nel rispetto delle indicazioni fornite dal costruttore, possono suggerire la messa in funzione dei sistemi antighiaccio superficiali, allorquando l'equipaggio non noti realmente l'inizio della formazione del ghiaccio sul velivolo.

Le considerazioni generali svolte in questo paragrafo possono anche riferirsi ai velivoli turboelica; inoltre, per quanto concerne tali velivoli, si ricordi che, a prescindere dal sistema installato per proteggere le pale dalla formazione di ghiaccio, il numero di giri delle eliche rappresenta uno dei parametri più importanti per contrastare efficacemente l'accumulo di ghiaccio su tali superfici. Quindi, poco prima di entrare in un'area in cui il pilota si aspetta delle probabili formazioni di ghiaccio, aumentare i giri delle eliche fino a raggiungere il valore suggerito dal costruttore. Infine, dato che molti dei moderni sistemi antighiaccio hanno la capacità di contrastare efficacemente il fenomeno del *'run-back'* (vedi Capitolo 3), è importante attivare tali sistemi seguendo scrupolosamente le raccomandazioni fornite dal costruttore.

Per quanto concerne i *'boots'* pneumatici, è fondamentale sottolineare che, grazie al progresso tecnologico, anche tali sistemi hanno compiuto sensibili passi in avanti, sebbene ovviamente, non tutti i velivoli possono disporre di *'boots'* pneumatici di ultimissima generazione.

I sistemi più vetusti, teoricamente, non sono immuni dal fenomeno noto come *'ice bridging'* (vedi Capitolo 6), inoltre la vita operativa di tali sistemi è strettamente correlata al numero di cicli di gonfiamento/sgonfiamento effettuati. In generale tuttavia, si può affermare che, con i sistemi più datati, è consigliabile attendere la formazione d'un certo quantitativo di ghiaccio, circa 5-10 mm di spessore, prima di metterli in funzione. Con i sistemi di ultima generazione invece l'equipaggio può attivare i *'boots'* pneumatici non appena le prime tracce di contaminante comincino a depositarsi sul velivolo. Inoltre i sistemi più moderni dispongono anche di due o più modalità di funzionamento in base alla temperatura esterna ed al rateo di accrescimento del ghiaccio. In ogni caso, per quanto riguarda l'uso sia dei *'boots'* più vetusti che di quelli più moderni, il manuale del velivolo specificherà quando e come attivarli per ottimizzarne l'efficacia e l'efficienza.

Se il velivolo dispone di un impianto di protezione dal ghiaccio che automaticamente è in grado di ridurre l'angolo di incidenza a cui, in *'cockpit'*, entrano in funzione i sistemi artificiali di avviso di stallo, è opportuno ricordare che, al momento della sua attivazione, l'equipaggio dovrà anche coerentemente aumentare le velocità minime di volo, al fine

di mantenere comunque il previsto margine di sicurezza tra tali velocità e quelle di stallo con ala contaminata.

Come già accennato precedentemente, per quanto concerne i motori a carburatore, seguire le indicazioni riportate sul manuale del velivolo per essere certi di operare il sistema aria calda al carburatore correttamente. Inoltre, è opportuno ricordare, anche in questo paragrafo, che, in funzione del tipo specifico di sistema installato (termometro per rilevare l'OAT o termometro che misura la temperatura dell'aria all'interno del carburatore), il pilota dovrà operare la leva o il pomello dell'aria calda al carburatore in maniera leggermente differente. Come regola generale, in presenza di umidità visibile e nel caso la strumentazione in dotazione possa rilevare solamente l'OAT, è opportuno ritenere critica qualsiasi temperatura compresa tra -5°C e $+25^{\circ}\text{C}$. Con OAT comprese nel suddetto intervallo il pilota dovrà aprire il pomello dell'aria calda al carburatore fino al punto oltre il quale il motore inizia a "borbottare". Questo è l'unico modo, per quanto concerne i velivoli equipaggiati semplicemente con termometri per OAT, per essere sicuri che il calore somministrato non solo è in grado di sciogliere il ghiaccio potenzialmente presente nel carburatore, ma che inoltre tale calore è sufficiente ad impedire che il vapore acqueo si righiacci altrove all'interno del condotto. Se invece il velivolo dispone di un termometro la cui sonda è posta all'interno del carburatore, a valle del "venturi", sarà sufficiente, in presenza di umidità visibile, tirare il pomello aria calda al carburatore, fino a quando la temperatura a valle del condotto di espansione non raggiunga almeno i $+6^{\circ}\text{C}$. Anche in questo caso bisogna fare attenzione a non immettere aria calda in eccesso in quanto, oltre ad indebiti cali di potenza, si possono sempre verificare fenomeni di pre-accensione, funzionamento irregolare del motore e/o surriscaldamento della testata cilindri.

Nel volo attraverso aree favorevoli alla formazione di ghiaccio, è importante che l'equipaggio verifichi quando e se il velivolo inizia concretamente ad accumulare tale contaminante. A tale scopo, sembra utile ricordare che il modo migliore per controllare l'insorgere del ghiaccio è osservare di tanto in tanto i punti più sensibili a tale fenomeno; essi in genere sono: i bulloni del tergicristallo, i trasparenti laterali della cabina di pilotaggio, le ogive delle eliche, il bordo d'entrata delle superfici aerodinamiche. Naturalmente l'equipaggio, nel caso si appresti ad attraversare condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio, deve includere nella consueta scansione strumentale anche il controllo di tali superfici o particolari del velivolo. Tra l'altro durante i voli notturni, per ovvi motivi, tale compito potrebbe risultare tutt'altro che semplice e perciò, alcuni velivoli hanno in dotazione particolari luci che illuminano appositamente alcuni dei menzionati particolari, mentre altri

putroppo ne sono privi. Nei velivoli privi della specifica illuminazione esterna è essenziale quindi, che il pilota, durante i voli notturni condotti attraverso aree favorevoli alla formazione di ghiaccio, abbia a portata di mano la sua torcia elettrica che potrebbe essere l'unico strumento attraverso il quale identificare prontamente l'insorgere di tale contaminante. La torcia inoltre, potrebbe comunque risultare l'unico mezzo per identificare il ghiaccio anche nei velivoli in cui è prevista l'apposita illuminazione esterna, nel caso in cui l'equipaggio, a causa di un'avaria sopraggiunta durante il volo, non possa più disporre dello specifico equipaggiamento.

Infine è opportuno ricordare che, grazie al progresso tecnologico, alcuni velivoli hanno anche dei sensori specifici in grado di rilevare e trasmettere in 'cockpit' l'insorgere del ghiaccio: essi sono concepiti in maniera tale da rilevare la presenza di contaminante fino a quando l'intero velivolo non ne sia effettivamente privo.

Attraversando condizioni meteorologiche particolarmente perturbate è opportuno, in accordo con le raccomandazioni formulate dal costruttore, attivare le candele d'accensione del motore: in circostanze simili infatti, non solo il ghiaccio, ma anche la pioggia intensa possono mettere seriamente a rischio il buon funzionamento del propulsore. Poi se il sistema dispone di più circuiti di accensione assicurarsi, prima del decollo, che almeno due di questi siano perfettamente efficienti; inoltre, in caso di permanenza prolungata entro aree meteorologicamente perturbate, ricordarsi di rispettare comunque il ciclo di funzionamento dell'*'ignition'* riportato nella documentazione tecnica del velivolo: il rispetto di tale ciclo infatti, rappresenta il miglior modo per ottimizzare l'efficacia e la vita di tale sistema.

Se, durante la salita, l'equipaggio è obbligato ad attivare i sistemi di protezione dal ghiaccio, potrebbe risultare opportuno effettuare delle valutazioni in merito alle capacità di rispettare o meno, i gradienti minimi imposti da una particolare SID o necessari per rispettare una specifica MEA. La pertinenza di tali considerazioni deve essere necessariamente messa in relazione alle prestazioni specifiche del velivolo, al suo peso ed al particolare sistema antighiaccio installato: infatti, un sistema termoelettrico provoca generalmente una riduzione di prestazione inferiore rispetto a quella provocata da un sistema che sfrutta gli spillamenti di aria calda dal compressore. In sintesi, quando è necessario usare i sistemi antighiaccio, tenere anche bene a mente che il velivolo, a causa del minore eccesso di potenza disponibile, potrebbe non essere in grado di salire come pianificato dall'equipaggio: in tal caso non esitare a chiedere al controllo del traffico aereo la possibilità di effettuare una virata di 360° o, addirittura, di volare una SID meno ripida.

Durante la salita attraverso aree interessate da fenomeni meteorologici di rilevante intensità, specialmente se il velivolo inizia ad accumulare ghiaccio, controllare attentamente i parametri principali e le prestazioni dell'aeromobile. Nel caso il propulsore sfortunatamente ingerisca un certo quantitativo di ghiaccio, il pilota potrà prontamente rilevare tale eventualità osservando i parametri motore: ad esempio, potrebbe notare un' anomala fluttuazione dei principali valori di funzionamento, oppure il motore potrebbe stabilizzarsi sotto al minimo con l'EGT in costante aumento o, in casi estremi, potrebbe addirittura spegnersi. E' impossibile predire il comportamento specifico che un propulsore sottoposto ad ingestione di ghiaccio possa mostrare: perciò solo un attento controllo dei parametri motore può aiutare l'equipaggio a formulare la corretta analisi dell'evento in corso ed a mettere in atto le giuste azioni correttive.

E' opportuno ricordare, inoltre, che prestazioni di salita inconsuete, come velocità verticali estremamente ridotte o velocità indicate decisamente insolite, possono suggerire all'equipaggio che alcuni fenomeni meteorologici sono stati sottovalutati, oppure che il sistema antighiaccio del velivolo funziona con ridotta efficienza o, semplicemente, che la velocità di accumulo del ghiaccio supera le capacità sghiaccianti dei sistemi di bordo; a tal proposito è bene rammentare che nessun velivolo è certificato per operare costantemente in condizioni meteorologiche in grado di dar vita a rilevanti formazioni di ghiaccio o, come direbbero gli anglosassoni, *'in severe icing conditions'*. In ogni caso il costante controllo delle prestazioni e dei parametri principali del velivolo rappresenta, anche in questi casi, uno dei principali metodi per identificare problemi connessi alla formazione di ghiaccio ed eventualmente per attuare le opportune azioni correttive; a tal fine l'unica azione possibile, in circostanze particolari, potrebbe addirittura implicare la necessità di abbandonare immediatamente l'area perturbata per scongiurare l'insorgere di problemi più gravi.

In caso l'equipaggio si trovi ad operare attraverso condizioni atmosferiche in grado di generare cospicue formazioni di ghiaccio, è opportuno effettuare qualche considerazione in merito all'uso dell'autopilota. In tali condizioni, l'autopilota automaticamente correggerà ogni variazione inconsueta che, a causa dell'accumulo di ghiaccio, possa inficiare l'efficienza e la stabilità del velivolo; una simile azione da parte dell'autopilota potrebbe offuscare importanti indizi che potrebbero aiutare l'equipaggio a comprendere gli eventi in corso e quindi consentire loro di adottare, per tempo, le opportune azioni correttive. Inoltre l'autopilota, una volta raggiunti i limiti operativi, si sgancia improvvisamente: tale evento potrebbe lasciare il velivolo completamente squilibrato e libero di assumere, in breve tempo, assetti non agevolmente recuperabili. Infine, con l'autopilota inserito, ogni variazione di prestazione da parte del

velivolo è difficilmente percepibile, a meno che l'equipaggio non effettui un continuo ed attento monitoraggio del pannello strumenti. In sintesi, l'attuale bibliografia sconsiglia l'uso dell'autopilota *'in severe icing conditions'*.

10.6.2) Principali azioni

- **SE NECESSARIO, ATTIVARE IL RADAR METEOROLOGICO E VALUTARE LA SITUAZIONE;**
- **SE NECESSARIO, ATTIVARE I SISTEMI DI PROTEZIONE DAL GHIACCIO DEL VELIVOLO O ACCERTARSI CHE SIANO GIÀ STATI ATTIVATI;**
- **SE NECESSARIO, AUMENTARE I GIRI ELICA FINO AL VALORE SUGGERITO DAL COSTRUTTORE;**
- **SE OPPORTUNO E PREVISTO, AUMENTARE LE VELOCITÀ MINIME DI VOLO;**
- **USARE IL DISPOSITIVO "ARIA CALDA AL CARBURATORE" SEGUENDO LE INDICAZIONI FORNITE DAL COSTRUTTORE;**
- **CONTROLLARE IL REALE ACCUMULO DI GHIACCIO;** se necessario, utilizzare una torcia elettrica;
- **USARE IL SISTEMA "ACCENSIONE CANDELETTE" SEGUENDO LE INDICAZIONI FORNITE DAL COSTRUTTORE;**
- **VERIFICARE IL COSTANTE RISPETTO DEI GRADIENTI MINIMI DI SALITA RISPETTO ALLE TRAIETTORIE REALI DEL VELIVOLO;**
- **CONTROLLARE LE PRESTAZIONI E L'EFFICACIA DEI SISTEMI DI PROTEZIONE DAL GHIACCIO DEL VELIVOLO;**
- **SE NECESSARIO, CONSIDERARE ANCHE L'EVENTUALITÀ DI ABBANDONARE UN'AREA SERIAMENTE PERTURBATA;** appena possibile avvisare il controllo del traffico aereo;
- **L'USO DELL'AUTOPILOTA È SCONSIGLIABILE IN 'SEVERE ICING CONDITIONS'.**

10.7) Crociera

10.7.1) Considerazioni generali

Malgrado la salita abbia caratteristiche distinte rispetto alla crociera, le considerazioni formulate per l'una, per quanto concerne le operazioni condotte in condizioni meteorologiche perturbate, possono essere applicate anche all'altra: ciò nonostante, è opportuno formulare qualche osservazione aggiuntiva relativa a questa fase di volo.

Come già affermato, la formazione di ghiaccio sul velivolo provoca un generale decadimento delle sue prestazioni. L'accumulo di tale contaminante muta la forma dell'aeromobile e cambia il profilo delle

superfici aerodinamiche: in particolare si modifica il Cl_{α} , si riduce il Cl_{max} , il valore dell'angolo d'incidenza di stallo dell'ala contaminata risulta inferiore, la resistenza totale aumenta, il velivolo diventa più pesante e tutte le derivate di stabilità dell'aeromobile risultano cambiate.

Al fine di migliorare costantemente l'efficienza delle operazioni, i costruttori tendono a spingere il disegno aeronautico sempre più al limite e le compagnie aeree, prescrivendo l'uso ottimale delle prestazioni del velivolo, obbligano il pilota ad operare all'interno di inviluppi di volo sempre più ridotti. Nelle odierne operazioni, ad esempio, non è infrequente effettuare la fase di crociera con un inviluppo di volo di soli ± 5 nodi. Quindi, nel caso di impreviste condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio, l'equipaggio deve essere sempre consapevole di quanto il velivolo sia prossimo alle sue massime prestazioni in modo da poter reagire prontamente e, se necessario, richiedere un livello di volo più basso. Si ricordi, come già espresso all'inizio di questo capitolo, che un'attenta analisi di tutte le informazioni disponibili prima del volo è fondamentale per pianificare le operazioni in sicurezza.

Come già detto, quando si attraversano aree favorevoli alla formazione di ghiaccio, alcuni velivoli hanno l'obbligo di operare a velocità minime di volo maggiorate: anzitutto, usare tali velocità non appena si prevedano condizioni meteorologiche simili, poi non accettare mai di operare a velocità inferiori. Inoltre, anche quando si intravede il 'top' di una formazione nuvolosa capace di produrre ghiaccio e si sta già operando alla velocità minima di volo maggiorata, non scambiare mai, in tale situazione, velocità con quota nel tentativo di forare lo strato nuvoloso; ciò in quanto, non solo il tentativo potrebbe risultare vano, ma l'equipaggio potrebbe constatare, come descritto nel precedente capitolo, fenomeni ben più insidiosi.

Le conseguenze associate a condizioni meteorologiche potenzialmente in grado di generare ghiaccio potrebbero comunque essere oggetto di considerazione da parte dell'equipaggio, anche se l'aeromobile vola nel sereno e ben al di sopra di uno strato di nubi sottostante. Infatti, nel caso in cui ci si trovi a sorvolare imponenti catene montuose o altipiani in grado di generare valori rilevanti di MEA, è prassi consolidata mettere in relazione tali quote con le prestazioni garantite con un motore in avaria. Se il volo è condotto ad una quota maggiore rispetto a quella di tangenza con un motore in avaria, il guasto del propulsore, ovviamente, obbligherà il velivolo a scendere verso quote più basse. La conclusione di tale discesa è funzione delle reali condizioni atmosferiche in cui si svolge tale manovra: infatti, se il velivolo scendendo rimane sempre nel sereno, la perdita di quota può risultare alquanto limitata, ma se l'aeroplano

attraversa aree che provocano accumuli di ghiaccio, l'equipaggio dovrà attivare tutti i dispositivi per cercare di evitare la formazione di tale contaminante; pertanto, a causa delle penalizzazioni di prestazioni provocate da tali sistemi, sarà costretto a livellare a quote ben più basse. Il manuale del velivolo generalmente affronta questo tipo di problematica fornendo al pilota svariate tabelle da cui ricavare le reali prestazioni dell'aeromobile nelle varie condizioni. Ad esempio, il costruttore potrà fornire una o più tabelle in cui vengono specificate le quote di tangenza con un motore in avaria senza e con i sistemi di protezione dal ghiaccio inseriti, potrà poi anche allegarne altre in cui vengono pubblicati i 'decision points' e le 'minimum crossing altitudes' con e senza gli impianti di protezione dal ghiaccio attivati etc.. In ogni caso, a prescindere dal tipo di documentazione fornita al pilota, solo questi, raccordando in maniera sensata tutte le indicazioni ed informazioni in suo possesso, potrà effettuare le deduzioni assennate che sono alla base delle varie decisioni ed azioni messe in atto durante la consueta attività di volo; nelle operazioni notturne, ad esempio, solo l'equipaggio, attraverso l'analisi della carta del tempo significativo, potrà dedurre se siano possibili formazioni di ghiaccio 5000 o 7000 ft sotto il proprio livello di crociera. In sintesi il concetto fondamentale è il seguente: essere sempre consci delle prestazioni del velivolo, soprattutto se esiste la possibilità di attraversare condizioni meteorologiche perturbate.

A prescindere da quanto accurata sia stata la raccolta di informazioni e tralasciando quanto giudiziose possano essere state le considerazioni dell'equipaggio, si ricordi che nel caso ci si imbatte in 'severe icing conditions' l'azione più opportuna è quella di abbandonare il più rapidamente possibile l'area perturbata. A tal fine sembra opportuno fornire alcuni suggerimenti per meglio preparare il pilota ad eseguire tale manovra: richiedere o, a seconda della gravità della situazione, comunicare, nel più breve tempo possibile, al servizio del controllo del traffico aereo la necessità di cambiare livello e/o rotta; evitare manovre accentuate, ma nel contempo ridurre al minimo il tempo di esposizione del velivolo a condizioni meteorologiche tanto ostili; con l'autopilota ingaggiato, impugnare saldamente la barra di comando e sganciare tale ausilio; non variare la configurazione del velivolo; se si riscontrano problemi di stabilità ridurre l'angolo d'incidenza; quando la situazione si è normalizzata non dimenticare di riferire al controllo del traffico aereo le condizioni atmosferiche riscontrate.

10.7.2) Principali azioni

- **SE NECESSARIO, ATTIVARE IL RADAR METEOROLOGICO E VALUTARE LA SITUAZIONE;**

- SE NECESSARIO, ATTIVARE I SISTEMI DI PROTEZIONE DAL GHIACCIO DEL VELIVOLO O ACCERTARSI CHE SIANO GIÀ STATI ATTIVATI;
- SE NECESSARIO, AUMENTARE I GIRI ELICA FINO AL VALORE SUGGERITO DAL COSTRUTTORE;
- SE OPPORTUNO E PREVISTO, AUMENTARE LE VELOCITÀ MINIME DI VOLO;
- USARE IL DISPOSITIVO "ARIA CALDA AL CARBURATORE" SEGUENDO LE INDICAZIONI FORNITE DAL COSTRUTTORE;
- CONTROLLARE IL REALE ACCUMULO DI GHIACCIO; se necessario, utilizzare una torcia elettrica;
- USARE IL SISTEMA "ACCENSIONE CANDELETTE" SEGUENDO LE INDICAZIONI FORNITE DAL COSTRUTTORE;
- CONTROLLARE LE PRESTAZIONI E L'EFFICACIA DEI SISTEMI DI PROTEZIONE DAL GHIACCIO DEL VELIVOLO;
- ESSERE SEMPRE CONSCI DELLE PRESTAZIONI DEL VELIVOLO soprattutto se esiste la possibilità di attraversare condizioni meteorologiche perturbate;
- ABBANDONARE IL PIÙ RAPIDAMENTE POSSIBILE UN'AREA DOVE SIANO RICONTRABILI 'SEVERE ICING CONDITIONS'; appena possibile avvisare il controllo del traffico aereo;
- L'USO DELL'AUTOPILOTA È SCONSIGLIABILE IN 'SEVERE ICING CONDITIONS'.

10.8) Discesa

10.8.1) Considerazioni generali

Malgrado le fasi di volo precedentemente esaminate abbiano caratteristiche distinte rispetto alla discesa, le considerazioni formulate per le prime, per quanto concerne le operazioni condotte in condizioni meteorologiche perturbate, possono essere estese anche a quest'ultima: ciò nonostante, risulta comunque opportuno formulare qualche osservazione aggiuntiva relativa a questa fase di volo.

La discesa attraverso condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio costituisce un compito tutt'altro che agevole; cercare, quindi, di anticipare tutte quelle operazioni o considerazioni che, se effettuate durante l'attraversamento dell'area di mal tempo, potrebbero indebitamente aumentare il già alto carico di lavoro dell'equipaggio; dunque, nel caso si debba comunicare urgentemente qualcosa agli uffici operativi della propria compagnia, completare tale operazione ben prima di attraversare l'area perturbata; ugualmente, risulta auspicabile, in simili situazioni, acquisire le varie informazioni meteorologiche riguardanti l'aeroporto di destinazione ed ai suoi alternati prima di iniziare la discesa.

Tali informazioni, infatti, sono essenziali per aiutare l'equipaggio a stabilire non solo l'operatività dell'aeroporto di destinazione, ma anche l'alternato migliore dal punto di vista meteorologico; inoltre i dati meteorologici acquisiti permetteranno di stabilire il possibile uso, anche nell'ultima parte dell'avvicinamento, dei sistemi di protezione dal ghiaccio del velivolo o magari il tipo e l'entità dell'eventuale contaminante presente in pista. A tal proposito nel caso l'equipaggio determini che la pista, per pioggia intensa od a causa di altre sostanze, risulti contaminata è opportuno ricordare che, se disponibile, è buona norma accendere l'APU prima dell'atterraggio.

Se è verosimile aspettarsi condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di contaminanti anche presso l'aeroporto di destinazione, una buona parte delle considerazioni effettuate prima di entrare nell'area perturbata, dovrebbe riguardare l'argomento: "prestazioni di atterraggio del velivolo". Basti pensare, ad esempio, che in tali condizioni atmosferiche anche la pista potrebbe essere allagata oppure ricoperta di neve secca, neve bagnata, grandine o addirittura ghiaccio e tali contaminanti riducono considerevolmente l'azione frenante (*'braking action'*) della pista; nel *'briefing'* prima dell'atterraggio quindi, vanno comprese tutte le implicazioni che simili condizioni meteorologiche potrebbero avere sulle prestazioni di atterraggio del velivolo. Per prima cosa considerare lo spessore che l'eventuale sostanza contaminante ha già depositato in pista: se tale valore supera una certa entità infatti il costruttore potrebbe proibire addirittura l'atterraggio. Ugualmente un altro fattore in grado di precludere la possibilità di operare su di un dato aeroporto è il vento: perciò, tenendo conto del reale stato di contaminazione della pista, verificare se l'entità del vento al traverso supera il valore massimo riportato sul manuale del velivolo per il supposto tipo di contaminazione. Poi, se le operazioni sono consentite, assicurarsi che la lunghezza della pista sia compatibile con le ridotte capacità frenanti generabili dalla stessa. Il ridotto attrito che tali superfici sono in grado di generare non solo incide direttamente sulle capacità frenanti dei velivoli, ma anche sulle loro capacità sterzanti: quindi, ridurre la velocità oltremodo e controllare la reale efficacia dello sterzo prima di provare a liberare qualsiasi pista ricoperta di contaminante. Infine, soprattutto quando si conducono operazioni in condizioni meteorologiche che fino all'atterraggio sono in grado di provocare accumuli di ghiaccio, un altro parametro che l'equipaggio dovrebbe tenere sempre in debita considerazione è il massimo peso di riattaccata: ad esempio, tale peso potrebbe risultare proprio il parametro limitante per un velivolo bimotore che, con un motore in avaria, fosse costretto ad usare i sistemi antighiaccio fino all'atterraggio.

Per quanto concerne l'uso dei sistemi antighiaccio durante la discesa, va ricordato poi, che tali sistemi, quando basano il loro funzionamento su spillamenti di aria calda dal compressore, non forniscono adeguate prestazioni con i motori ad 'idle'. La circostanza che l'equipaggio non possa scendere con i motori ad 'idle' implica ridotte velocità verticali, a meno di non utilizzare l'aerofreno, e quindi discese più lunghe. Oltre al fatto che discese graduali attraverso aree favorevoli alla formazione di ghiaccio sono sconsigliabili, la ridotta capacità di discesa del velivolo in simili condizioni aumenta apprezzabilmente il carico di lavoro del pilota; questi, infatti, deve pianificare un'insolita discesa per perdere energia e ciò non sempre è facilmente realizzabile, soprattutto se la traiettoria necessita di angoli di rampa alquanto ripidi, tipici degli aeroporti circondati da alte montagne. Naturalmente, quando l'orografia dello scalo non è significativa e l'uso dei sistemi antighiaccio è probabile, sarà cura dell'equipaggio anticipare convenientemente il punto di inizio discesa per poter contare su un percorso maggiore e più adatto alle velocità verticali massime ottenibili. Come già accennato, l'uso degli aerofreni, per determinati velivoli, può risultare l'unico modo per ottenere velocità verticali accettabili. Tra l'altro l'utilizzo di tali superfici è comunque consigliabile per attraversare il più rapidamente possibile limitati strati nuvolosi capaci di produrre ghiaccio: questa tecnica è particolarmente efficace specialmente quando è noto che sotto tale strato le condizioni atmosferiche sono completamente differenti. Se, ad esempio, l'equipaggio nota che il velivolo, attraversando uno strato nuvoloso, sta accumulando ghiaccio, ma è a conoscenza che la temperatura sotto tali nubi è ben al di sopra dello 0°C, l'uso dell'aerofreno permetterà di abbandonare rapidamente le condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio.

Durante la discesa potrebbe accadere che, anche con condizioni atmosferiche perturbate, il controllo del traffico aereo richieda all'equipaggio di effettuare uno o più circuiti di attesa per ottimizzare la sequenza di avvicinamento. E' opportuno ricordare che effettuare prolungate attese in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio è sempre sconsigliabile, in quanto il velivolo procede a velocità ridotta e generalmente tali manovre si svolgono a quote ideali per la formazione di tale contaminante. L'incidente del volo 4184, un ATR 72 dell'American Eagle, avvenne proprio perché tale velivolo effettuò un'attesa di ben 39 minuti in un'area densa di particelle sopraffuse di grande diametro; perciò in tali condizioni o comunque nel dubbio, richiedere immediatamente il cambio di quota o di poter attendere il proprio turno di avvicinamento in una differente posizione. Inoltre quando si opera in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, a meno di particolari necessità, è sempre sconsigliabile estendere i flaps in quanto tale manovra riduce l'angolo di incidenza del velivolo; ciò potrebbe infatti favorire l'accumulo del ghiaccio

ben dietro il bordo d'attacco dell'ala, in un'area in cui i sistemi di protezione dei velivoli sono parzialmente o per nulla efficaci.

10.8.2) Azioni principali

- SE NECESSARIO, ATTIVARE IL RADAR METEOROLOGICO E VALUTARE LA SITUAZIONE;
- SE NECESSARIO, ATTIVARE I SISTEMI DI PROTEZIONE DAL GHIACCIO DEL VELIVOLO O ACCERTARSI CHE SIANO GIÀ STATI ATTIVATI;
- SE NECESSARIO, AUMENTARE I GIRI ELICA FINO AL VALORE SUGGERITO DAL COSTRUTTORE;
- SE OPPORTUNO E PREVISTO, AUMENTARE LE VELOCITÀ MINIME DI VOLO;
- USARE IL DISPOSITIVO "ARIA CALDA AL CARBURATORE" SEGUENDO LE INDICAZIONI FORNITE DAL COSTRUTTORE;
- CONTROLLARE IL REALE ACCUMULO DI GHIACCIO; se necessario, utilizzare una torcia elettrica;
- USARE IL SISTEMA "ACCENSIONE CANDELETTE" SEGUENDO LE INDICAZIONI FORNITE DAL COSTRUTTORE;
- CONTROLLARE LE PRESTAZIONI E L'EFFICACIA DEI SISTEMI DI PROTEZIONE DAL GHIACCIO DEL VELIVOLO;
- ABBANDONARE IL PIÙ RAPIDAMENTE POSSIBILE UN'AREA DOVE SIANO RISCONTRABILI 'SEVERE ICING CONDITIONS'; appena possibile avvisare il controllo del traffico aereo;
- L'USO DELL'AUTOPILOTA È SCONSIGLIABILE IN 'SEVERE ICING CONDITIONS';
- EVITARE DI EFFETTUARE ATTESE PROLUNGATE IN CONDIZIONI METEOROLOGICHE FAVOREVOLI ALLA FORMAZIONE DI GHIACCIO;
- VALUTARE LE INFORMAZIONI METEOROLOGICHE DELLO SCALO DI DESTINAZIONE E DEGLI ALTERNATI IN RELAZIONE ALLE PRESTAZIONI DI ATTERRAGGIO DEL VELIVOLO;
- SE OPPORTUNO E PREVISTO, ACCENDERE L'APU PRIMA DELL'ATTERRAGGIO.

10.9) Avvicinamento ed atterraggio

10.9.1) Considerazioni generali

Malgrado le fasi di volo precedentemente esaminate abbiano caratteristiche distinte rispetto all'avvicinamento e all'atterraggio, le considerazioni formulate per le prime, per quanto concerne le operazioni condotte in condizioni meteorologiche perturbate, possono essere estese

anche a quest'ultime: ciò nonostante, risulta comunque opportuno formulare qualche osservazione aggiuntiva specifica per queste fasi di volo.

L'importanza dell'uso del radar meteorologico per l'attraversamento di aree perturbate è stata più volte sottolineata. L'utilizzo di tale strumento è ugualmente essenziale anche durante l'ultima fase del volo; così, anche se il velivolo ha forato l'ultimo strato nuvoloso e si è in contatto visivo con la pista, non affrettarsi a spegnere questo importante ausilio. Al contrario, lasciarlo acceso per valutare la situazione meteorologica della riattaccata e se, dall'immagine radar, si determina che il percorso della riattaccata attraversa la parte più attiva della perturbazione, non esitare a comunicare all'ATC che, in caso di mancato avvicinamento, sarà necessario assumere un determinato vettore per evitare il mal tempo.

Se la parte finale dell'avvicinamento è stata condotta in condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio e tali condizioni sono previste fino all'atterraggio, l'equipaggio dovrebbe pensare anche al fenomeno dello stallo del piano orizzontale di coda (ICTS). Tale fenomeno, in genere, non si manifesta fino a quando l'equipaggio non decide di selezionare i flaps di atterraggio; infatti, quando i flaps si estendono in tale posizione, il piano orizzontale di coda deve operare ai massimi angoli d'incidenza per generare la deportanza necessaria a bilanciare il velivolo in configurazione di atterraggio. Tale fenomeno è alquanto insidioso in quanto, non solo l'equipaggio si renderà conto che la coda è contaminata durante una fase di volo di per sé già ad alto carico di lavoro, ma soprattutto perché i margini di manovra per riguadagnare il controllo dell'aeromobile, data la scarsa quota a cui l'ICTS tipicamente si manifesta, sono alquanto limitati. In altre parole le probabilità di recuperare il velivolo da uno stallo del piano orizzontale di coda sono assai ridotte e quindi, anche se durante un avvicinamento il carico di lavoro è già alto, è vitale ricordarsi di sghiacciare la coda del velivolo prima di selezionare i flaps di atterraggio; questa è l'unica procedura che può veramente assicurare l'assenza di ghiaccio sul piano orizzontale di coda e, quindi, garantire una superficie aerodinamica sempre perfettamente efficiente.

Come già accennato, quando si attraversano aree favorevoli alla formazione di ghiaccio, alcuni velivoli hanno l'obbligo di operare a velocità minime di volo maggiorate. Tali velivoli possono decelerare al di sotto di tali velocità solo se l'equipaggio è certo che il velivolo è privo di ghiaccio o se tale contaminante si è completamente sciolto. Ciò può essere determinato, ad esempio, osservando direttamente apposite sonde o altre parti esterne dell'aeromobile indicate dal costruttore: tali particolari infatti, grazie alle loro peculiari forme e posizioni, hanno la

capacità di accumulare ghiaccio ben prima che questo possa aderire attorno alle superfici critiche del velivolo; perciò, quando tali sonde sono completamente prive di ghiaccio, l'equipaggio è sicuro che anche il resto del velivolo ne è privo. Perciò, se il velivolo attraversa condizioni idonee a generare ghiaccio e tali condizioni sono previste fino all'atterraggio, sarà necessario effettuare anche tutto l'avvicinamento mantenendo velocità minime maggiorate, al fine di conservare comunque il previsto margine di sicurezza tra tali velocità e quelle di stallo con ala contaminata.

Per i velivoli dotati di motori a carburatore l'avvicinamento condotto in condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio costituisce una delle più delicate fasi di volo. Ciò non solo perché tale fase si svolge in prossimità del terreno, ma anche perché l'avvicinamento è solitamente condotto a potenze ridotte e ciò implica che la valvola a farfalla è pressoché chiusa. Una simile posizione di tale valvola, come già analizzato, provoca un notevole abbassamento della temperatura della miscela all'interno del carburatore, un conseguente aumento della probabilità di far ghiaccio all'interno di tale particolare e, perciò, aumenta il rischio di uno spegnimento del motore a bassa quota. Per evitare un simile evento usare l'aria calda al carburatore, secondo le indicazioni suggerite dal costruttore, fino al punto oltre il quale si è certi di poter condurre un sicuro atterraggio; oltre tale punto, invece, va ricordato che è sempre consigliabile interrompere completamente il flusso di aria calda all'interno del motore. In sintesi, interrompere il flusso di aria calda al carburatore poco prima di ridurre il motore ad "idle" per l'atterraggio o poco prima di applicare la massima potenza per eseguire la manovra di riattaccata.

10.9.2) Azioni principali

- **SE NECESSARIO, ATTIVARE IL RADAR METEOROLOGICO E VALUTARE LE CONDIZIONI ATMOSFERICHE DELLA RIATTACCATA PUBBLICATA;**
- **SE NECESSARIO, ATTIVARE I SISTEMI DI PROTEZIONE DAL GHIACCIO DEL VELIVOLO O ACCERTARSI CHE SIANO GIÀ STATI ATTIVATI;**
- **SE NECESSARIO, AUMENTARE I GIRI ELICA FINO AL VALORE SUGGERITO DAL COSTRUTTORE;**
- **SE OPPORTUNO E PREVISTO, AUMENTARE LE VELOCITÀ MINIME DI VOLO;**
- **CONTROLLARE IL REALE ACCUMULO DI GHIACCIO;** se necessario, utilizzare una torcia elettrica;
- **USARE IL SISTEMA "ACCENSIONE CANDELETTE" SEGUENDO LE INDICAZIONI FORNITE DAL COSTRUTTORE;**

- CONTROLLARE LE PRESTAZIONI E L'EFFICACIA DEI SISTEMI DI PROTEZIONE DAL GHIACCIO DEL VELIVOLO;
- VALUTARE LE INFORMAZIONI METEOROLOGICHE DELL'AEROPORTO IN RELAZIONE ALLE PRESTAZIONI DI ATTERRAGGIO DEL VELIVOLO;
- SE OPPORTUNO E PREVISTO, ACCENDERE L'APU PRIMA DELL'ATTERRAGGIO;
- ATTERRARE CON IL SISTEMA ARIA CALDA AL CARBURATORE IN POSIZIONE 'FULL COLD'.

11) ALCUNI TIPICI INCIDENTI AERONAUTICI

Per comprendere meglio la serietà dei fenomeni provocati dalla formazione di ghiaccio risulta utile analizzare gli incidenti aeronautici più significativi avvenuti a causa di tale contaminante. Durante il progetto EURICE, il CIRA ed altri enti aerospaziali, realizzarono una banca dati contenente tutti gli eventi significativi accaduti a causa del ghiaccio; l'Università di Pisa poi, ha selezionato da tale banca 83 incidenti riguardanti velivoli con più di 7 persone a bordo. Utilizzando questo ristretto gruppo d'eventi è stato possibile realizzare un'analisi più approfondita dei 20 casi in cui purtroppo si sono verificate perdite di vite umane: questi sono stati riportati cronologicamente in figura 11.1.

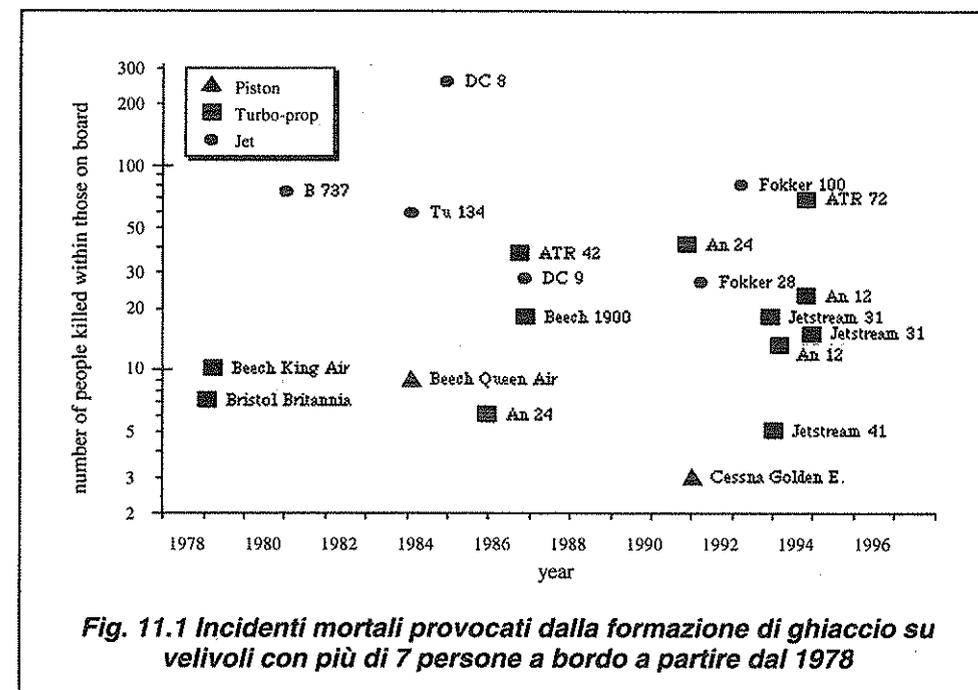


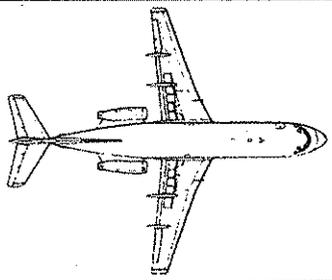
Fig. 11.1 Incidenti mortali provocati dalla formazione di ghiaccio su velivoli con più di 7 persone a bordo a partire dal 1978

Si è provveduto, inoltre, a classificare gli incidenti anche in funzione delle cause e della fase di volo in cui questi si sono manifestati. Per quanto concerne le cause, il 35% sono stati provocati da formazione di ghiaccio sulle superfici aerodinamiche, il 26% da formazione di ghiaccio al motore, il 16% da formazione di ghiaccio al suolo ed il 23% da altre cause. Per quanto concerne la fase di volo invece è interessante notare che, per i turboelica, tali eventi sono risultati ugualmente distribuiti in tutte le fasi di volo, mentre, per quanto riguarda i velivoli turbogetto, gli incidenti sono accaduti essenzialmente per formazione di ghiaccio al suolo.

Nelle pagine successive, grazie alla banca dati del progetto EURICE, si passerà ad analizzare sinteticamente gli incidenti che possono ritenersi più rappresentativi:

- 22 Marzo 1992; Fokker 28 presso l'aeroporto LA GUARDIA (USA): ghiaccio al suolo.
- 31 Ottobre 1994; ATR 72 presso Roselawn (USA): instabilità laterale (ICRU).
- 4 Gennaio 1993; Fairchild SA227 presso Blountville (USA): ghiaccio al motore.
- 1 Dicembre 1974; B-727 presso Thiells, New York (USA): ghiaccio alle sonde strumentali.
- 11 Novembre 1998; Saab 340A presso Melbourne (Australia): stallo per ghiaccio sulle ali.
- 9 Gennaio 1997; Embraer -120RT (USA): mancato utilizzo dei 'boots' pneumatici.
- 15 Gennaio 1977; Vickers Viscount presso Bromma: stallo del piano orizzontale di coda (ICTS).

11.1) 22 Marzo 1992; Fokker 28 presso l'aeroporto LA GUARDIA (USA): ghiaccio al suolo

Modello di aeroplano	F28	
Ditta costruttrice	Fokker	
Peso del velivolo	24500- 33113 Kg	
Ditta costruttrice motori	Rolls Royce	
Tipo di motore	Spey	
Potenza (per motore)	9850 - 9900 lb st	
Tipo di propulsione	Jet	
Numero di motori	2	

11.1.1) Sintesi dell'incidente

Domenica 22 Marzo 1992 alle 21:35 tempo standard orientale statunitense, il volo UsAir 405, un Fokker 28-400, cadeva nel tentativo di decollare dalla pista 13 dell'aeroporto La Guardia di New York. Dei 47 passeggeri e dei 4 membri d'equipaggio presenti a bordo, il comandante, un assistente di volo e 25 passeggeri, a seguito dell'impatto, riportavano ferite mortali.

Prima di muovere dal parcheggio era necessario procedere allo sghiacciamento del velivolo tramite l'uso di due autobotti contenenti una

miscela di fluido di tipo I ed acqua diluiti al 50%. Tuttavia uno di questi due mezzi, a causa di un guasto meccanico, si arrestava ben dietro l'aeromobile in una posizione dove era impossibile applicare il fluido sghiacciante. Dopo un ritardo di circa 20 minuti il comandante richiedeva un nuovo sghiacciamento e così veniva deciso di trainare il velivolo fuori dall'area di parcheggio, in modo da poter effettuare il secondo sghiacciamento anche con un'unica autobotte. Il secondo sghiacciamento era completato alle 21:00, quindi il comandante, in accordo con le procedure di compagnia concernenti le operazioni su piste contaminate, comunicava di voler decollare con i flaps estesi a 18° e con una V1 ridotta a 110 kias.

Le operazioni di rullaggio duravano circa 30 minuti durante i quali il primo ufficiale più volte accendeva le luci alari per verificare l'assenza di contaminante sulle superfici critiche dell'aeromobile. Alle 21:35 il velivolo era autorizzato al decollo e tutto si svolgeva regolarmente fino alla rotazione. Alle 21:35.33 l'equipaggio percepiva il primo avviso sonoro di stallo seguito poco dopo da altri 5 avvisi. Dopo il completo distacco, il velivolo dava subito vita ad un deciso 'buffet' aerodinamico e successivamente iniziava a rollare verso sinistra. Il comandante riusciva a livellare le ali e quindi, rendendosi conto che il velivolo non aveva le capacità di volare, cercava di mantenere il controllo dell'aeromobile per evitare l'acqua e per entrare in contatto col suolo con un assetto livellato; l'impatto avveniva alle 21:35.40.

E' interessante osservare che all'epoca dell'incidente, il direttore dell'aeroporto di La Guardia aveva emesso una circolare che consentiva l'uso dei fluidi di tipo II solamente se il velivolo fosse rimasto in aeroporto tutta la notte; in ogni caso tale fluido doveva essere completamente rimosso prima che il velivolo, il mattino dopo, lasciasse il parcheggio assegnato. Tale circolare sarebbe rimasta in vigore fino a quando prove definitive condotte dalla FAA avrebbero chiarito l'influenza di tali fluidi sui coefficienti di attrito delle piste. La commissione d'inchiesta appurava che:

- La temperatura esterna era inferiore a 0°C.
- 35 minuti circa erano trascorsi tra il secondo sghiacciamento e l'inizio della corsa di decollo; durante tale periodo il velivolo era stato continuamente esposto a precipitazioni atmosferiche.
- Probabilmente l'ala del velivolo era ricoperta di ghiaccio e questo fu considerato il principale motivo dell'incidente.

- Il comandante aveva deciso di ridurre la V1 a 110 kias perché preoccupato del ridotto coefficiente di attrito generabile dalle piste contaminate. La scelta di operare con una V1 ridotta traeva in inganno il primo ufficiale che erroneamente chiamava anche la V_R anticipatamente. La V_R ridotta provocava un aumento dell'angolo d'incidenza di 0.5°. Tale incremento, praticamente ininfluenza su di un'ala non contaminata, sarebbe risultato la più importante concausa della sciagura.
- All'epoca dell'incidente l'utilizzo dei fluidi di tipo II era proibito, eccetto per le soste notturne, all'aeroporto di La Guardia ed, in ogni caso, tali fluidi dovevano essere rimossi prima che il velivolo lasciasse il proprio parcheggio. I fluidi di tipo I risultavano ottimi per sghiacciare, ma, essendo caratterizzati da un tempo di 'hold-over' molto limitato, erano assolutamente inadatti come fluidi antighiaccio.

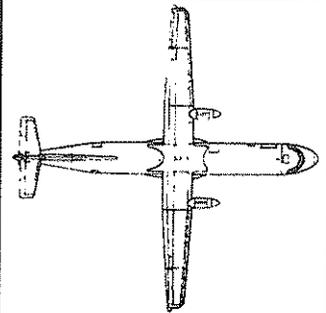
11.1.2) Gli insegnamenti principali

Il controllo visivo della contaminazione presente sull'ala, soprattutto attraverso i trasparenti del velivolo, può risultare assolutamente inadeguato. Nel dubbio il pilota deve eseguire o deve far eseguire, da personale qualificato, un accurato controllo tattile su tutte le superfici critiche del velivolo o deve effettuare un nuovo trattamento di sghiacciamento e di antighiaccio.

Nel momento in cui il periodo di 'hold-over' calcolato viene superato l'equipaggio deve rientrare per un nuovo trattamento di sghiacciamento e di antighiaccio o il comandante deve richiedere od effettuare un controllo tattile. Si ricordi che in tal caso, se dall'ispezione emerge che il fluido è ancora efficace, il decollo deve essere effettuato entro i successivi 5 minuti. Infine, il tempo utile per 'hold-over' va calcolato dall'inizio del trattamento antighiaccio.

All'epoca di questo incidente le procedure antighiaccio dei velivoli non erano adeguate.

11.2) 31 Ottobre 1994; ATR 72 presso Roselawn (USA): instabilità laterale (ICRU)

Modello di aeroplano	72	
Ditta costruttrice	ATR	
Peso del velivolo	21500 Kg	
Ditta costruttrice motori	Pratt & Whitney	
Tipo di motore	PW 124/127	
Potenza (per motore)	2160 - 2480 shp	
Tipo di propulsione	Turboprop	
Numero di motori	2	

11.2.1) Sintesi dell'incidente

In data 31 Ottobre 1994 il volo American Eagle 4184 decollava alle ore 14:55 con 42 minuti di ritardo; dopo aver livellato a 16000 ft alle 15:12 iniziava a scendere verso 10000 ft. Inizialmente veniva adottata la procedura antighiaccio di livello II ed i giri dell'elica venivano aumentati fino all'86%, successivamente, applicando la procedura di livello III, l'equipaggio attivava tutti i sistemi di sghiacciamento e di antighiaccio del velivolo. Alle 15:17 il velivolo livellava a 10000 ft e, come istruito, entrava in 'holding'. Alle 15:23, con 175 kias e flaps a 0°, i sistemi di protezione dal ghiaccio del velivolo venivano disattivati ed i giri delle eliche venivano ridotti. Alle 15:32 per ridurre l'assetto l'equipaggio decideva di portare i flaps a 15°. Successivamente alle 15:41, dopo l'attivazione del sistema "avviso di ghiaccio", tutti i sistemi di protezione dal ghiaccio del velivolo venivano riattivati ed i giri elica venivano nuovamente portati all'86%. Alle 15:56 il velivolo veniva autorizzato a scendere a 8000 ft e dopo alcuni avvisi di 'flaps over-speed' l'equipaggio retraeva completamente i flaps. A questo punto, con un angolo d'incidenza di 6.5° l'autopilota si scollegava ed il velivolo iniziava un rapido rollio di 77° a destra, a cui immediatamente ne seguiva un altro di 59° a sinistra. L'equipaggio non riusciva a riguadagnare il controllo del velivolo che, poco dopo, impattava il suolo uccidendo tutti gli occupanti.

La commissione d'inchiesta appurava che l'ATR 72 aveva operato prevalentemente in condizioni di ghiaccio moderate. Il volo American Eagle 4184 aveva effettuato la maggior parte dell' 'holding' attraverso nubi ad alto tasso liquido (alto LWC), con una temperatura esterna prossima a 0°C, e cariche di gocce d'acqua sopraffusa di grande diametro; le autorità stimarono che tali gocce avevano mediamente un

diametro compreso tra 180 e 200 micron. Si noti che un velivolo, per ottenere la certificazione FAR/JAR 25, deve dimostrare di essere in grado di operare in sicurezza attraverso ben determinate condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio; tali condizioni sono enunciate nell'appendice C della FAR/JAR 25: in tale normativa, in nessuna circostanza, vengono contemplate gocce d'acqua con diametro superiore a 50 micron.

Per quanto concerne l' *'holding'* il volo veniva suddiviso in due fasi ben distinte. La prima fase, durata circa 10 minuti, veniva svolta con i flaps completamente retratti; durante tale fase l'angolo d'incidenza era positivo e, non appena i sistemi di protezione furono disattivati, il ghiaccio cominciò a formarsi sia sul bordo d'attacco che sotto il ventre dell'ala. La seconda fase, durata 24 minuti, veniva invece volata con i flaps estesi a 15°: per i primi 8 minuti i sistemi di protezione dal ghiaccio rimasero disattivati, mentre durante i rimanenti 16 minuti questi vennero riattivati. Durante questa seconda fase, a causa dell'estensione dei flaps e quindi del ridotto angolo d'incidenza, il ghiaccio si formava sul bordo d'attacco e sul dorso dell'ala raggiungendo, in virtù del notevole diametro delle gocce d'acqua, parti dell'ala addirittura non protette dai *'boots'* pneumatici. Quando l'equipaggio decise di attivare i *'boots'* solamente parte del ghiaccio, quello in corrispondenza di tali sistemi di sghiacciamento, veniva rimosso; ovviamente il ghiaccio presente sul dorso dell'ala dietro tali sistemi non poteva essere eliminato. Al contrario il contaminante residuo iniziava ad accumulare altro ghiaccio proprio dietro i *'boots'* in una posizione, quindi, in cui era impossibile effettuare alcun intervento correttivo. Col trascorrere del tempo quella iniziale formazione di ghiaccio si trasformò, in breve, in un vero e proprio scalino così, non appena l'equipaggio decise di retrarre i *'flaps'*, l'angolo d'incidenza finale superò quello critico per una superficie portante tanto contaminata. Ciò provocava, proprio dietro lo scalino di ghiaccio, un'immediata separazione del flusso aerodinamico, una forte depressione in corrispondenza degli alettoni, l'aspirazione di tali superfici, il distacco dell'autopilota e la perdita di stabilità laterale che risultava incontrollabile per l'equipaggio.

11.2.2) Gli insegnamenti principali

Un velivolo per ottenere la certificazione FAR/JAR 25 deve dimostrare di essere in grado di operare in sicurezza attraverso condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio in cui vengono contemplate gocce d'acqua con diametro non superiore a 50 micron. In natura, invece, esistono gocce d'acqua sopraffusa con diametri ben maggiori di 50 micron, denominate *'supercooled large droplets'* (SLD). Quindi nessun velivolo è certificato per volare in sicurezza attraverso condizioni meteorologiche in cui sono presenti le SLD e perciò, se

incontrate, tali condizioni vanno immediatamente abbandonate. Dal canto loro i costruttori devono fornire agli equipaggi delle indicazioni per poter più agevolmente individuare situazioni tanto insidiose. Generalmente i costruttori forniscono le seguenti indicazioni:

- Formazione di ghiaccio su superfici dove generalmente tale contaminante non si accumula (ad es. trasparenti laterali dell'ATR).
- Presenza di ghiaccio dietro le aree protette.
- Presenza di ghiaccio su ogive e prese d'aria motori in aree in cui normalmente tale contaminante non è osservabile.
- Gocce di pioggia ben visibili a temperature esterne negative.

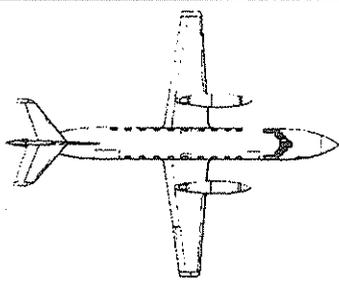
E' utile ricordare che gli esperti hanno individuato due meccanismi di formazione delle SLD. Il primo meccanismo, denominato "classico", è associato al fenomeno dell'inversione termica; in tali condizioni nevischio, grandine e particelle di ghiaccio sollevate dalle correnti ascensionali all'interno delle nubi possono sciogliersi a quote elevate dove le temperature sono superiori a 0°C. Poi ricadendo, rimangono comunque allo stato liquido pur attraversando quote più basse in cui le temperature sono inferiori a 0°C. Il secondo meccanismo, denominato "non-classico", è associato al fenomeno della coalescenza che nelle nubi, a causa della naturale turbolenza e rimescolamento, favorisce la formazione di SLD.

Nel caso l'equipaggio si trovi ad attraversare condizioni atmosferiche in cui, in virtù del meccanismo "classico", risultino presenti le SLD, un'ulteriore discesa potrebbe portare il velivolo ad un livello di volo in cui la temperatura esterna è addirittura più bassa e, quindi, potrebbe condurre l'aeromobile attraverso condizioni perfino più critiche per ciò che concerne la formazione del ghiaccio; al contrario, in tali condizioni, un aumento di quota potrebbe mettere il velivolo al riparo da ulteriori formazioni di tale contaminante. Certamente il precedente ragionamento sarebbe errato nel caso le SLD si fossero formate in virtù del meccanismo "non-classico" descritto in precedenza. Ecco perché è buona abitudine conoscere sempre la quota dello zero termico ed osservare l'andamento delle temperature esterne a mano a mano che il velivolo attraversa i vari livelli di volo.

L'uso dell'autopilota è sconsigliabile in *'severe icing conditions'*.

Se è proprio necessario effettuare delle *'holding'* in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, è sconsigliabile effettuare tali attese con i flaps estesi. Se, tuttavia, tali superfici sono state estese è consigliabile che non vengano più retratte.

11.3) 4 Gennaio 1993; Fairchild SA227 presso Blountville (USA): ghiaccio al motore

Modello di aeroplano	SA227 (Metro)	
Ditta costruttrice	Fairchild	
Peso del velivolo	4540 - 7484 Kg	
Ditta costruttrice motori	Garret	
Tipo di motore	TPE331	
Potenza (per motore)	1800 shp	
Tipo di propulsione	Turboprop	
Numero di motori	2	

11.3.1) Sintesi dell'incidente

In data 1 Aprile 1993 alle 21:28 tempo standard orientale statunitense, un velivolo Fairchild SA227TT, mentre effettuava l'ILS della pista 23 dell'aeroporto regionale di Tri-City Blountville nel Tennessee, precipitava al suolo. A seguito dello schianto il velivolo si distruggeva ed il pilota ed i tre passeggeri a bordo riportavano ferite mortali.

Prima del decollo da Knoxville, il pilota aveva ricevuto il normale briefing meteorologico che conteneva anche un *'pilot report'* riguardante formazioni di ghiaccio brinoso osservate ad est di Knoxville. Alle 20:58 il SA227TT veniva autorizzato al decollo e alle 21:10 il volo veniva passato al controllo del traffico aereo di Tri-City che preannunciava al pilota di prepararsi ad un ILS per la pista 23. Il pilota, inoltre, veniva informato che formazioni di ghiaccio leggero erano state riportate a 10000 ft; successivamente alle 21:28 questi riceveva l'autorizzazione all'atterraggio. Poco dopo, il controllore di torre di Tri-City osservava le luci del velivolo forare lo strato nuvoloso in una sorta di stretta spirale discendente fino a quando il velivolo non urtava il suolo distruggendosi.

Nel passato, su questo tipo di velivolo, si erano verificati casi di spegnimento motore durante operazioni condotte in condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio. Alcuni casi si erano addirittura verificati mentre il velivolo, avendo già abbandonato l'area perturbata, attraversava strati d'aria sereni e più caldi. Per questo motivo il costruttore suggerì che il sistema antighiaccio delle prese d'aria dovesse essere utilizzato anche volando attraverso condizioni atmosferiche che solo potenzialmente avrebbero potuto generare accumuli di ghiaccio. Conseguentemente il manuale del velivolo fu modificato come riportato di seguito:

If icing conditions are encountered with the icing protection system off, the following procedures should be followed:

1. Ignition mode switches.....on
2. Left Engine Heat switches.....Eng. & propeller heat

Verify that first engine operates satisfactorily before selecting engine and prop heat for second engine.

EGT will increase slightly and torque will decrease when engine and propeller heat is selected. Power level adjustments may be required.

3. Pitot Heat/ SAS Heat.....on
4. Windshield Heat switches.....high
5. De-ice boots switches.....as required
6. Right Engine heat switches..... Eng. & propeller heat

L'inchiesta accertò che lo *'stability augmentation system'* (SAS) era perfettamente efficiente prima dell'impatto e che la luce di attivazione del sistema di riscaldamento eliche e prese d'aria motore non si accese mai durante il volo.

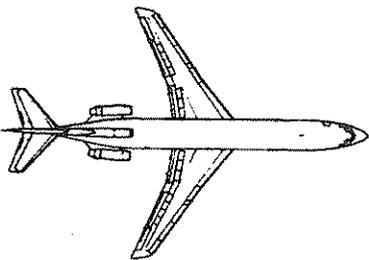
Gli investigatori determinarono che l'incidente fu causato da un'improvvisa e cospicua perdita di potenza da uno dei due motori. Essi però, non riscontrando alcun guasto in tale motore, conclusero che la perdita di potenza fu provocata dal mancato rispetto delle procedure antighiaccio da parte del pilota mentre il velivolo attraversava condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio. In tali condizioni probabilmente le prese d'aria dei motori avevano accumulato del ghiaccio che, successivamente, si era staccato e che, venendo ingerito all'interno del motore, aveva provocato la notevole perdita di potenza. Una concausa determinante fu l'incapacità da parte del pilota, completamente concentrato nel tentativo di risolvere l'avaria motore, di mantenere una velocità tale da evitare lo stallo.

11.3.2) Gli insegnamenti principali

Il pilota non rispettò le nuove procedure previste per il volo in condizioni atmosferiche favorevoli alla formazione di ghiaccio contenute nell'ultimo aggiornamento del manuale del velivolo. Quest'ultime prevedevano di attivare per prima cosa il sistema di accensione dei motori, poi richiedevano di attivare, uno alla volta, i sistemi di protezione dal ghiaccio dei propulsori. Inoltre il manuale prescriveva di mantenere tale

configurazione per un certo tempo anche dopo aver abbandonato tali condizioni atmosferiche: ciò per evitare che successivamente, anche in aria chiara, frammenti di ghiaccio si potessero staccare e potessero entrare nel motore, provocandone lo spegnimento.

11.4) 1 Dicembre 1974; B-727 presso Thiells, New York (USA): ghiaccio alle sonde strumentali

Modello di aeroplano	727	
Ditta costruttrice	Boeing	
Peso del velivolo	72570 - 95030 Kg	
Ditta costruttrice motori	Pratt & Whitney	
Tipo di motore	Canada	
Potenza (per motore)	JT8D	
Tipo di propulsione	14000 - 17400 lb st	
Numero di motori	Jet 3	

11.4.1) Sintesi dell'incidente

Questo incidente riguarda un volo di trasferimento notturno effettuato da New York a Buffalo. Durante la salita a 31000 ft, l'equipaggio effettuava una serie di comunicazioni radio d'emergenza in cui si specificava che il velivolo era fuori controllo ed in stallo. Subito dopo, l'aeromobile iniziava una drastica discesa, si squarciava in volo ed impattava terra vicino alla città di New York.

Durante l'esame del relitto, gli investigatori scoprirono che i due interruttori 'pitot heat' si trovavano ancora in posizione 'OFF' mentre, in un secondo tempo, l'analisi del registratore di bordo rivelò che i controlli pre-decollo furono svolti in maniera approssimativa facendo sì che l'equipaggio dimenticasse di accendere il sistema di riscaldamento sonde prima di involarsi.

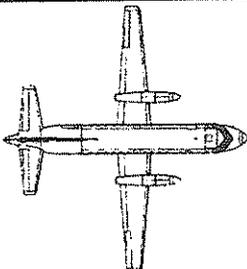
La commissione d'inchiesta riuscì successivamente a ricostruire anche la dinamica dell'incidente; così fu appurato che mentre il velivolo attraversava 16000 ft, salendo a 305 kias ed a 2500 ft al minuto, la velocità anemometrica, improvvisamente e senza alcuna variazione di spinta, cominciò ad aumentare. Tale sintomo non fu interpretato correttamente dall'equipaggio che attribuì tale evento all'assenza di carico pagante presente a bordo. Come il velivolo raggiunse 23000 ft si attivò anche l'avviso di 'Mach-overspeed' e così l'equipaggio aumentò l'assetto del velivolo nel tentativo di ridurre la velocità. In breve, l'aumento di assetto provocò un ampio incremento dell'angolo d'incidenza che a

sua volta attivò gli avvisi di stallo, disorientò completamente l'equipaggio e causò la perdita di controllo dell'aeromobile.

11.4.2) Gli insegnamenti principali

Malgrado questo incidente non sia molto noto, forse perché comportò la perdita dei soli tre membri d'equipaggio, è ritenuto dagli addetti ai lavori degno d'attenzione; questo rappresenta il classico esempio in cui l'atmosfera rilassata, probabilmente per il fatto che il volo fosse privo di passeggeri, portò l'equipaggio, nonostante esperto e ben addestrato, a non eseguire i controlli con la dovuta attenzione ed, in ultima analisi, all'incidente.

11.5) 11 Novembre 1998; Saab 340A presso Melbourne (Australia): stallo per ghiaccio sulle ali

Modello di aeroplano	SF-340A	
Ditta costruttrice	Saab	
Peso del velivolo	12370-13155 Kg	
Ditta costruttrice motori	General Electric	
Tipo di motore	CT7	
Potenza (per motore)	1735-1870 shp	
Tipo di propulsione	Turboprop	
Numero di motori	2	

11.5.1) Sintesi dell'incidente

In data 11 Novembre 1998 un Saab 340A effettuava un regolare volo di linea da Albury a Melbourne. Il velivolo volava in nube ad una quota di crociera di 15000 ft ed ad una temperatura esterna di -6°C. L'equipaggio aveva perciò attivato i sistemi antighiaccio motori ed eliche tuttavia, osservando solamente delle lievi particelle di ghiaccio sul bordo d'attacco delle ali, decideva di non mettere in azione il sistema di 'boots' pneumatici. D'altra parte l'equipaggio era fiducioso di tale scelta in quanto, successivamente, riferirà che, nella tratta precedente, aveva già attraversato, senza alcun problema, formazioni nuvolose in grado di produrre quantitativi di ghiaccio ben maggiori.

Non appena l'equipaggio entrò in comunicazione con l'avvicinamento di Melbourne riceveva la comunicazione di effettuare dei circuiti di attesa sul VOR di Eildon Weir. Raggiungendo il VOR l'equipaggio riduceva la potenza dei motori per entrare in 'holding' ad una velocità di 154 kias. Dal registratore di bordo, inoltre, si poté determinare che il velivolo iniziò l'attesa con i flaps completamente retratti. Durante la virata l'equipaggio

lasciava che la velocità gradualmente diminuisse fino a quando, a 141 kias, iniziò a percepire un leggero 'buffet' aerodinamico. Sei secondi dopo, la velocità raggiungeva i 136 kias ed a questo punto l'autopilota si sganciava. Un secondo dopo, il velivolo abbassava bruscamente l'ala ed il muso, comportamento tipico di una situazione di stallo, ed in breve raggiungeva un'inclinazione alare di 126° a sinistra ed un assetto picchiato di ben 32° . L'equipaggio riacquisiva il controllo del velivolo a 12700 ft circa.

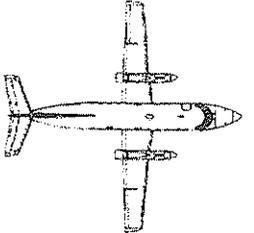
Inizialmente i piloti ritennero che il 'buffet' fosse stato causato da uno sbilanciamento nello sghiacciamento delle pale delle eliche inoltre, pensarono che la successiva perdita di controllo fosse stata causata da una improvvisa e violenta turbolenza. Solamente dopo aver riguadagnato il controllo del velivolo, notando la presenza di una ben distinta linea di ghiaccio brinoso lungo tutto il bordo d'attacco dell'ala, capirono come in realtà erano andate le cose. E' interessante notare, inoltre, che l'equipaggio ebbe solamente tenui e brevi indizi per interpretare la gravità della situazione: in pochi istanti il 'buffet' e lo sgancio dell'autopilota furono gli unici sintomi prima che il velivolo si trovasse, improvvisamente, in stallo.

11.5.2) Gli insegnamenti principali

In questo evento, malgrado la perdita di 2300 ft ed il ferimento di un assistente di volo, l'equipaggio fortunatamente riuscì ad evitare la perdita dell'aeromobile. Nonostante ciò, esso costituisce un episodio frequentemente ricordato in quanto la commissione d'inchiesta attribuì al mancato azionamento dei 'boots' pneumatici la principale responsabilità dell'evento. Come si evince dalle testimonianze dei piloti, i 'boots' non furono attivati in quanto l'equipaggio ritenne che la tenue linea di ghiaccio brinoso sul bordo d'attacco dell'ala fosse di entità trascurabile. In realtà, oggi sappiamo con certezza che anche un quantitativo di ghiaccio tanto trascurabile è in grado di aumentare notevolmente la velocità di stallo dei velivoli: questo è proprio quello che accadde nel suddetto evento.

Inoltre gli investigatori australiani conclusero che un'importante concausa fu il breve margine che l'equipaggio ebbe tra gli avvisi di pre-stallo e lo stallo vero e proprio. In effetti il velivolo era stato equipaggiato con un sistema artificiale di stallo in quanto, durante la sperimentazione, erano stati ritenuti insufficienti gli avvisi naturali che preannunciavano tale fenomeno aerodinamico. Tuttavia il manuale del velivolo affermava distintamente che, nel caso il velivolo risultasse contaminato da ghiaccio, lo stallo sarebbe comunque potuto avvenire anche prima dell'attivazione degli avvisi artificiali di stallo: purtroppo tutto ciò si verificò fedelmente durante il volo del Saab 340A l'11 Novembre 1998.

11.6) 9 Gennaio 1997; Embraer -120RT (USA): mancato utilizzo dei 'boots' pneumatici

Modello di aeroplano	EMB-120 Brasilia	
Ditta costruttrice	Embraer	
Peso del velivolo	11500 - 11990 Kg	
Ditta costruttrice motori	Pratt & Whitney	
Tipo di motore	PW 118	
Potenza (per motore)	1800 shp	
Tipo di propulsione	Turboprop	
Numero di motori	2	

11.6.1) Sintesi dell'incidente

In data 9 Gennaio 1997 il volo Comair 3272, un Embraer-120, in discesa da 7000 ft con autopilota inserito e flaps retratti, veniva istruito dal controllo del traffico aereo a scendere a 4000 ft e ad intercettare il localizzatore della pista 3R a DTW. Dopo aver raggiunto la quota assegnata, all'equipaggio veniva comunicato di ridurre la velocità a 150 kias e di virare a sinistra.

E' probabile che durante la discesa da 7000 a 4000 ft il volo 3272 incontrò condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio. Durante tale fase di volo è possibile che gradualmente il velivolo accumulò un discreto strato di ghiaccio "misto" che, non solo ricoprì tutto il bordo d'attacco dell'ala, ma che formò anche un discreto scalino.

L'equipaggio, verosimilmente ignaro del graduale accumulo di contaminante, non attivava i 'boots' pneumatici ed inoltre le variazioni di potenza, le variazioni di rotta e le riduzioni di velocità, svolte nelle ultime fasi del volo sempre con l'autopilota inserito, impedivano probabilmente all'equipaggio di percepire il graduale peggioramento delle prestazioni del velivolo. Quando il controllo del traffico aereo ordinava all'equipaggio di virare a sinistra, l'autopilota, inserito in modalità "mantenimento quota", iniziava ad abbassare l'ala sinistra nel tentativo di ottenere 25° di angolo di banco; mentre l'assetto del velivolo attraversava i 20° di inclinazione a sinistra (LWD) e la velocità diminuiva a 164 kias, l'autopilota iniziava ad invertire i comandi per decelerare la velocità di rollio ed acquisire i 25° LWD programmati. Nonostante i comandi dell'autopilota fossero nel giusto senso, il velivolo continuava a rollare a sinistra superando i 25° prestabiliti, inoltre malgrado la potenza fosse stata aumentata a più del 90% la velocità continuava a diminuire e, per mantenere la quota, l'equipaggio notava che l'autopilota continuava a trimmare il velivolo 'nose-up'. Come l'angolo di banco superava i 45° LWD l'autopilota si

scollegava e, contemporaneamente, l'equipaggio percepiva l'attivazione dello 'shaker'. Poco prima dello sgancio dell'autopilota il volantino era inclinato circa 20° a destra; non appena l'autopilota si sganciava, il volantino repentinamente si ricentralizzava ed il velivolo istantaneamente accentuava l'inclinazione a sinistra, fino a raggiungere un assetto laterale di 140° LWD e longitudinale di 50° a picchiare. L'equipaggio, purtroppo, non fu in grado di riacquisire il controllo del velivolo e, dopo continue ed ampie oscillazioni laterali e longitudinali, il velivolo impattava il suolo con un assetto decisamente picchiato.

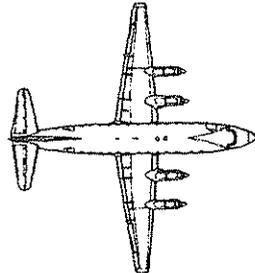
Gli investigatori dell'NTSB conclusero che la tendenza a rollare verso sinistra fu causata da uno strato di ghiaccio sul bordo d'attacco dell'ala accumulato durante la discesa da 7000 a 4000 ft. Tale tendenza fu accentuata da un distacco asimmetrico di tale contaminante, dalla reazione provocata dall'aumento di potenza dei motori e dalla posizione del volantino al momento del distacco automatico dell'autopilota.

11.6.2) Gli insegnamenti principali

La commissione d'inchiesta dell'NTSB determinò che:

- La causa principale dell'incidente fu la mancata attivazione da parte dell'equipaggio dei 'boots'. Ciò potrebbe essere stato causato dal fatto che l'equipaggio non si rese conto della presenza del ghiaccio sul bordo d'attacco del velivolo o dal fatto che, per evitare il fenomeno dell' 'ice bridging', stesse attendendo una quantità di contaminante maggiore prima di attivare il sistema di sghiacciamento. Tuttavia il fenomeno dell' 'ice bridging' non è stato mai documentato, mentre è accertato che anche un sottile strato di contaminante può avere conseguenze catastrofiche in merito alla volabilità di un aeromobile.
- In condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio la velocità di 150 kias, assegnata dal controllo del traffico aereo, sarebbe risultata comunque insufficiente per volare un avvicinamento in sicurezza; in effetti, in tali condizioni atmosferiche, la minima velocità riportata sul manuale del velivolo, per quanto concerne eventuali circuiti di attesa, è di 160 kias.
- E' vitale attivare i 'boots' non appena il velivolo entra in condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio e mantenere una velocità minima maggiorata. In ogni caso seguire scrupolosamente le indicazioni specifiche contenute nel manuale del velivolo.
- Un uso improprio dell'autopilota può mascherare il graduale degrado delle prestazioni aerodinamiche del velivolo.

11.7) 15 Gennaio 1977; Vickers Viscount presso Bromma: stallo del piano orizzontale di coda (ICTS)

Modello di aeroplano	Viscount	
Ditta costruttrice	Vickers	
Peso del velivolo	26560-32886 Kg	
Ditta costruttrice motori	Rolls-Royce	
Tipo di motore	Dart	
Potenza (per motore)	1400 - 1990 ehp	
Tipo di propulsione	Turboprop	
Numero di motori	4	

11.7.1) Sintesi dell'incidente

In data 15 Gennaio 1977 un Vickers Viscount, diretto all'aeroporto di Bromma, volava a FL 100 in condizioni di aria chiara. Sotto, da 1000 a 9000 ft, invece il cielo risultava completamente nuvoloso a causa di formazioni di strati e stratocumuli. La OAT a FL 100 era -11°C, mentre al suolo, a Bromma, la temperatura era 0°C. Per quanto concerneva la probabilità di formazione di ghiaccio, essa risultava bassa sopra i 5000 ft, ma sotto i 5000 ft aumentava sensibilmente, tanto da rendere possibili, nonostante non fosse stato emesso alcun avviso particolare, formazioni di ghiaccio "moderato" e/o "severo". Durante la fase finale dell'avvicinamento, il velivolo livellava a 2000 ft per circa tre minuti prima di intercettare il 'glide slope' dell'ILS di Bromma: durante questi ultimi tre minuti il velivolo, piani di coda inclusi, si ricopriva velocemente di un significativo quantitativo di ghiaccio. Quando, a circa 1500 ft AGL ed ad una velocità di 137 kias, l'equipaggio decideva di selezionare i flaps di atterraggio, il velivolo iniziava immediatamente e costantemente ad appruare il muso; fuori controllo, a causa di questo inaspettato momento picchiante, il velivolo impattava il suolo pochi secondi dopo, con un assetto longitudinale di -110° ed una velocità che, in quel breve lasso di tempo, aveva già raggiunto i 200 kias.

Il Vickers Viscount è dotato, come sistema di protezione dalle formazioni di ghiaccio, di bordi d'attacco riscaldati da aria calda: tale aria, prelevata da scambiatori di calore posti all'interno del condotto di scarico dei motori interni, è indirizzata, attraverso opportune tubature, all'interno del bordo d'attacco dell'ala e dei piani di coda. Il funzionamento di tale sistema tuttavia, così come fu realizzato nel Viscount, non era ottimale: infatti, mentre il bordo d'attacco dell'ala era sempre ben riscaldato, in genere, il bordo d'attacco dei piani di coda non risultava mai essere dotato di aria sufficientemente calda da rendere efficace il sistema antighiaccio. Tutto ciò a meno che l'equipaggio, osservando opportuni indicatori dedicati al

controllo della temperatura dell'aria all'interno dei vari bordi d'attacco, non decidesse di agire sugli "arricchitori" (*'fuel trimmers'*) dei motori interni. Infatti gli equipaggi del Viscount erano a conoscenza che la temperatura dell'aria doveva essere almeno di 50°C per consentire al bordo d'attacco dei piani di coda di sghiacciare efficacemente ed ottenere tale temperatura (50°C) con basse OAT (intorno ai -10°C) ed in nube era praticamente impossibile a meno che non si aprissero al massimo gli "arricchitori" e non si operassero i motori interni a TGT massima. Nonostante queste avvertenze era pratica consolidata, per piccole discese (circa 1000, 2000ft), operare con i motori intorno ad *'idle'* e con i *'fuel trimmers'* regolati al minimo; inoltre in prossimità dell' *'outer marker'*, i sistemi antighiaccio venivano comunque spenti per paura di surriscaldare eccessivamente e danneggiare il bordo d'attacco alare a mano a mano che il velivolo, avvicinandosi al terreno, attraversava strati di aria via via sempre più caldi.

La relazione finale dell'indagine suppose che il velivolo, durante l'ultima parte della discesa, aveva i sistemi antighiaccio attivi, ma gli "arricchitori" completamente al minimo, anche nel momento in cui, in prossimità dell'intercettazione del *'glide'*, furono incontrate condizioni di ghiaccio "moderate". L'equipaggio, probabilmente per la breve quota da perdere prima dell'atterraggio, decise di non modificare nulla circa la regolazione del sistema antighiaccio e quindi, mentre il bordo d'attacco dell'ala risultava ben riscaldato, la temperatura all'interno del bordo d'attacco dello stabilizzatore era presumibilmente troppo fredda per permettere al sistema antighiaccio di operare efficacemente anche per la coda, cosicché, nel momento in cui si decise di selezionare i *'flaps'* di atterraggio, lo stabilizzatore risultava ancora ricoperto da uno strato di ghiaccio.

11.7.2) *Gli insegnamenti principali*

Gli investigatori conclusero che la formazione di ghiaccio sul bordo di attacco dello stabilizzatore era stata la causa del distacco, prematuro, del flusso d'aria lungo la superficie inferiore del piano orizzontale di coda, nel momento in cui l'angolo d'incidenza del piano stesso aumentò automaticamente, proprio quando furono selezionati i flaps d'atterraggio. Inoltre, segni evidenti sull'equilibratore permisero di dimostrare che tale superficie era completamente rivolta verso il basso al momento dell'impatto; infatti l'area di bassa pressione, sorta a causa dello stallo del piano di coda, generò sull'equilibratore una tale forza che fu in grado di strappare la barra di comando dalle mani dei piloti e risucchiare violentemente l'equilibratore verso il basso.

La British Aerospace calcolò che, al momento della selezione dei flaps di atterraggio, sulla barra di comando si sviluppò una forza indotta di circa

120 lbs che, non solo strappò la barra dalle mani dei piloti, ma rese vano ogni ulteriore tentativo di recuperare il controllo della stessa.

12) REGOLAMENTI

12.1) Documentazione operativa

Le condizioni atmosferiche che possono provocare la formazione del ghiaccio possono differire, leggermente, da velivolo a velivolo ed, in ogni caso, è compito del costruttore definirle univocamente nel manuale di volo (AFM) e nel manuale operativo (AOM) dell'aeromobile. Il costruttore inoltre deve descrivere, su tale documentazione, le procedure da seguire per operare nelle suddette condizioni oltre che l'uso e le limitazioni dei sistemi di protezione installati sull'aeromobile. L'AFM e l'AOM, in aggiunta, devono contenere anche le azioni da eseguire in caso di malfunzionamento dei sistemi di protezione dal ghiaccio.

Anche tutte le informazioni necessarie per effettuare efficacemente le procedure di sghiacciamento/antighiaccio al suolo sono descritte nell'AFM e nell'AOM: inoltre tali procedure sono contenute anche nel manuale di manutenzione. Per quanto concerne la protezione del velivolo dalle formazioni di ghiaccio al suolo, va riconosciuto che, spesso, i costruttori mettono a disposizione degli equipaggi, grazie alla diffusione di pubblicazioni supplementari, delle informazioni aggiuntive: ciò sia per permettere ai piloti di approfondire la propria conoscenza su un argomento tanto importante e sia per aumentare l'attenzione alle problematiche connesse con la formazione del ghiaccio al suolo.

Come avviene per le altre operazioni, anche per quelle condotte in condizioni meteorologiche idonee alla formazione di ghiaccio va ricordato che la documentazione operativa del costruttore e dell'operatore può essere completata da eventuali *'Airworthiness Directives'* (AD) ossia dalle Direttive di Aeronavigabilità. Tali disposizioni sono emesse dalle autorità certificate nel momento in cui vengano identificate delle situazioni pericolose, non descritte negli AFM/AOM, per un modello, o per una classe di velivoli. Naturalmente quando una AD influenza le procedure o le limitazioni di un velivolo, quest'ultime sostituiscono quelle precedentemente contenute nell'AFM/AOM ed una copia di tale disposizione deve essere inserita nell'AFM/AOM.

Per quanto concerne le operazioni condotte in condizioni meteorologiche avverse con i velivoli da trasporto pubblico, va sottolineato che l'operatore deve manifestare chiaramente la propria politica sull'AOM. Questo manuale è obbligatorio per tali velivoli, deve essere approvato dalle autorità competenti e tutto il personale di compagnia deve operare in accordo a

quanto previsto nell'AOM. D'altra parte dall'aprile 1998, tutti gli operatori dei velivoli ad ala fissa, che intendono effettuare la loro attività principalmente all'interno di uno degli stati aderenti alle JAR (*Joint Aviation Requirements*) devono attenersi alle disposizioni contenute nelle JAR-OPS Part 1 e proprio le JAR-OPS Part 1 contemplano l'AOM ed i suoi contenuti. Ad esempio tale regolamento prevede, fra le tante altre notizie, che l'AOM debba contenere le *'Holdover Time Tables'* e la lista degli equipaggiamenti minimi (MEL ossia *'Minimum Equipment List'*) per poter effettuare il volo nel caso il velivolo abbia qualche impianto, compresi quelli antighiaccio, completamente o parzialmente malfunzionanti.

Naturalmente anche l'FAA ha condiviso tale impostazione e perciò ha emesso una serie di requisiti operativi simili nelle FAR Part 121 (*'domestic, flag and supplement operations'*) e Part 135 (*'commuter and on-demand operations'*).

12.2) I requisiti della certificazione

Per quanto concerne le operazioni condotte in condizioni atmosferiche idonee alla formazione di ghiaccio, lo scopo del processo di certificazione è quello di accertare l'efficacia del sistema di protezione dal ghiaccio installato e di dimostrare che le prestazioni e le caratteristiche di volo del velivolo, in tali condizioni, siano accettabili. Inoltre devono essere verificate anche le caratteristiche del volo continuativo, all'interno di aree perturbate, in presenza di malfunzionamenti del sistema di protezione dal ghiaccio.

Pur precisando che al momento esistono alcune commissioni internazionali che intendono aggiornare le norme di certificazione per quanto riguarda le operazioni condotte in condizioni atmosferiche idonee alla formazione di ghiaccio, attualmente i regolamenti da seguire sono i seguenti:

a) JAR (*'Joint Aviation Requirements'*) 25 *change* 14 e l'ACJ 25.1419 per l'Europa e la corrispondente FAR25-AC25.1419 per gli Stati Uniti. Questi documenti contengono le regole per dimostrare l'efficacia del sistema di protezione dal ghiaccio installato sul velivolo.

b) In Europa la NPA (*'Notice of Proposed Amendment'*) 25F-219 *issue* 2, introdotta ad interim come INT/POL/25/10. Questo documento contiene i requisiti per dimostrare che le prestazioni e le caratteristiche di volo del velivolo sono accettabili anche in presenza di ghiaccio accumulato sulle superfici critiche.

Gli attuali regolamenti si basano sulla FAR/JAR 25 Appendice C che, in ogni caso, non prevede gocce d'acqua sovrappresse con diametri medi superiori ai 50 µm. Inoltre l'ACJ 25.1419 richiede anche la verifica della sicurezza delle operazioni in presenza di cristalli di ghiaccio. In estrema sintesi per

soddisfare i requisiti di certificazione il velivolo deve essere capace di volare in sicurezza all'interno dell'involucro definito dalla FAR/JAR 25 Appendice C.

Il soddisfacimento dei requisiti contenuti nella suddetta appendice viene effettuato, in genere, con una serie di metodologie, usate in combinazione tra loro. Le principali sono:

- le prove in specifiche gallerie del vento in grado di provocare la formazione del ghiaccio;
- apposite analisi numeriche sui dati inerenti l'accumulo di tale contaminante;
- voli in VMC con forme di ghiaccio artificiali applicate sulle superfici del velivolo ;
- voli condotti in ghiaccio naturale.

Preso singolarmente, ognuna delle predette metodologie, manifesta delle limitazioni: ecco perché sono tutte indispensabili e perché i risultati ricavati dalle predette prove devono essere opportunamente integrati. Concretamente si procede attraverso le seguenti valutazioni:

- 1) Stima della quantità e delle forme di ghiaccio che si accumulano sul velivolo e dimostrazione che i comandi di volo non vengono bloccati dal ghiaccio (prove in galleria del vento, esperienze già acquisite su velivoli simili a quello oggetto della certificazione, analisi numeriche, prove di volo dietro l'*'icing tanker'*, prove di volo in condizioni di formazione di ghiaccio naturale).
- 2) Stima dell'effetto del ghiaccio sulle prestazioni e sulle caratteristiche di volo del velivolo (prove in galleria del vento con forme di ghiaccio simulato, esperienze già acquisite su velivoli simili a quello oggetto della certificazione, analisi numeriche, prove di volo con forme di ghiaccio simulato, prove di volo dietro l'*'icing tanker'*, prove di volo in condizioni di formazione di ghiaccio naturale).
- 3) Valutazione delle prestazioni del sistema di protezione ed individuazione del ghiaccio (esperienze già acquisite su velivoli simili a quello in esame, analisi numeriche, prove di volo dietro l'*'icing tanker'*, prove di volo in condizioni di formazione di ghiaccio naturale).

Per quanto riguarda le prove di volo, l'attività di certificazione dovrebbe riguardare tutte le fasi di volo: decollo, salita, crociera, discesa, attesa ed atterraggio. Adeguate prestazioni e caratteristiche di volo devono essere dimostrate a fronte delle previste formazioni di ghiaccio ed utilizzando la configurazione prescritta per ognuna delle predette fasi.

I requisiti di certificazione non indicano la quantità di prove da effettuare, ma fanno solo riferimento alla necessità di accertare la sicura aeronavigabilità, di un certo progetto aeronautico, a fronte delle condizioni atmosferiche più

critiche previste nei documenti di certificazione. Tuttavia, come già specificato, va detto chiaramente che l'esperienza operativa ha dimostrato che è possibile incontrare condizioni più severe di quelle indicate nella JAR/FAR-25 Appendice C: tali eccezionali condizioni, com'è facilmente intuibile, potrebbero produrre formazioni di ghiaccio in grado di porre seriamente a rischio la sicurezza delle operazioni di volo.

Per quanto concerne le prove di volo effettuate, in VMC, con forme di ghiaccio simulate sembra interessante puntualizzare che la NPA 25F-219 richiede, per la verifica delle prestazioni, la presenza della forma di ghiaccio con l'effetto peggiore sulla resistenza e sulla portanza del velivolo, mentre, per le verifiche di controllabilità, la presenza della forma di ghiaccio con l'effetto peggiore sulla portanza e sui momenti di beccheggio dell'aeromobile. Inoltre sulle parti del velivolo protette devono essere valutati anche gli effetti della presenza del ghiaccio residuo tra i cicli di sghiacciamento e quelli derivanti dai possibili malfunzionamenti del sistema di protezione. Infine, sia le prestazioni che le variazioni delle qualità di volo derivanti dalle operazioni condotte in condizioni idonee alla formazione di ghiaccio devono essere incluse nel manuale di volo del velivolo.

La NPA 25F-219 richiede poi l'effettuazione di una manovra a 'zero-g' per dimostrare che, anche in condizioni idonee alla formazione di ghiaccio, il piano di coda del velivolo mantiene una sufficiente autorità. Inoltre va ribadito che in presenza di ghiaccio "severo", causato dalle SLD, tale contaminante potrebbe estendersi, sulla superficie alare, tanto in profondità da interessare anche le zone non protette di tale superficie, formare quindi uno scalino e provocare un'improvvisa inversione dei momenti di cerniera tanto grande da impedire al pilota di riportare la superficie interessata nella posizione desiderata. Perciò, proprio in virtù di tale fenomeno, anche se ancora non richiesto dalle autorità certificative, alcune ditte costruttrici di velivoli turboprop, hanno effettuato dell'attività di prova per verificare che, anche in presenza di ghiaccio "severo" causato da SLD, le caratteristiche latero-direzionali del velivolo non subiscano peggioramenti inaccettabili.

12.2.1) L'involuppo della FAR/JAR 25 appendice C

L'appendice C delle FAR/JAR 25 stabilisce l'involuppo delle condizioni atmosferiche, idonee alla formazione di ghiaccio, all'interno delle quali un velivolo, per ottenere la certificazione, deve dimostrare di volare in sicurezza. Questi diagrammi sono stati definiti dalla NACA a seguito di uno studio statistico dei dati raccolti negli anni cinquanta.

Tale appendice riporta due distinte condizioni atmosferiche: la prima viene definita come 'continuous maximum icing' ossia ghiaccio massimo continuativo, la seconda 'intermittent maximum icing' ovvero ghiaccio massimo intermittente. Tali definizioni tendono ad identificare le condizioni che, verosimilmente, possono essere rilevate all'interno di formazioni nuvolose, rispettivamente, stratiformi e cumuliformi. Per

ognuna di queste condizioni l'appendice C riporta tre coppie di grafici. La prima coppia (Fig. 12.1) presenta il LWC (il contenuto d'acqua) in funzione del MVD (il diametro medio della goccia). I dati fanno riferimento a nuvole standard le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Condizioni	P.A.	Estens. verticale	Estens. orizzontale
<i>Continuous maximum</i>	0-22000 ft	6500 ft	17,4 Miglia nautiche
<i>Intermittent maximum</i>	4000-22000 ft	-	2,6 Miglia nautiche

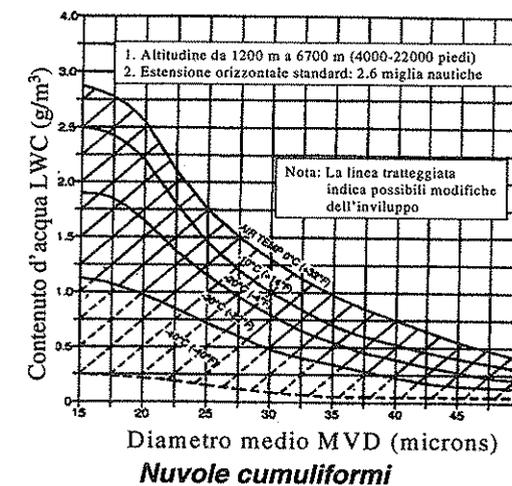
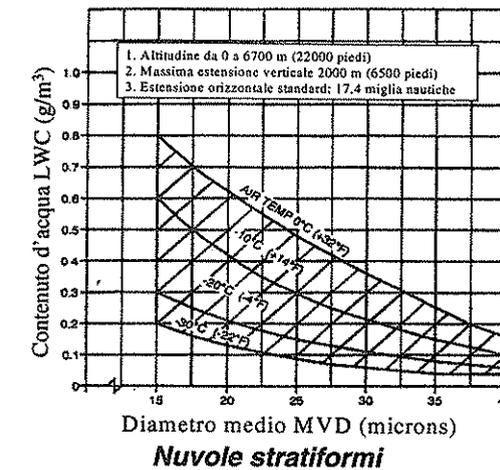
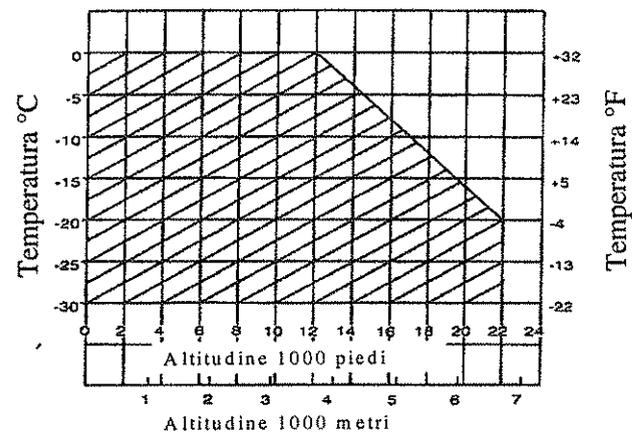
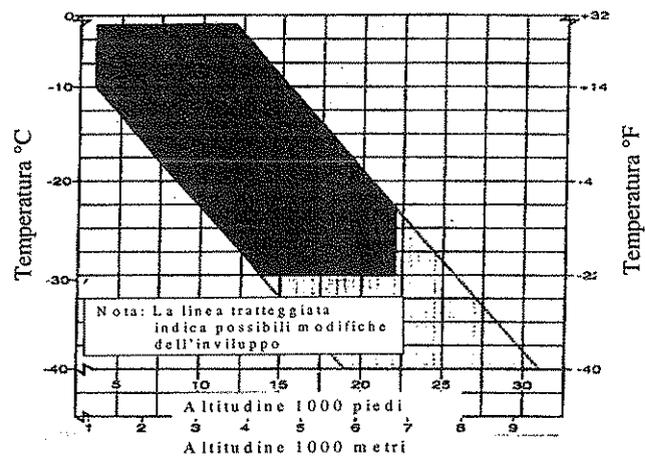


Fig. 12.1) Contenuto d'acqua in funzione del diametro delle gocce



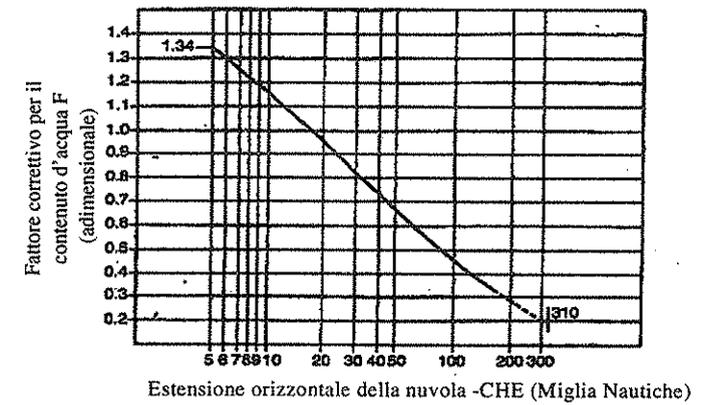
Nuvole stratiformi



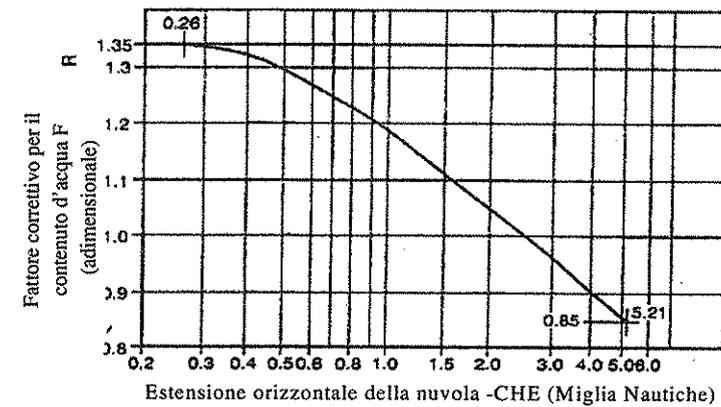
Nuvole cumuliformi

Fig. 12.2) Temperatura ambiente in funzione dell'altitudine

La seconda coppia di grafici (Fig. 12.2) riporta i diagrammi della temperatura in funzione dell'altitudine.



Nuvole stratiformi



Nuvole cumuliformi

Fig. 12.3) Fattore correttivo per il LWC in funzione dell'estensione delle nuvole

Infine la terza coppia di grafici (Fig. 12.3) fornisce dei fattori correttivi per il LWC in funzione dell'estensione orizzontale della nuvola (CHE) per tenere in considerazione gli effetti prodotti da formazioni con estensione diverse da quelle standard.

Va sottolineato che, data la potenziale pericolosità delle SLD, un gruppo di lavoro congiunto FAA/JAA sta valutando la possibilità di introdurre

nell'involuppo di certificazione anche tali tipi di gocce.

L'appendice C non riporta alcun requisito sui cristalli di ghiaccio e sulle formazioni di ghiaccio miste: a tal proposito la circolare consultiva ACJ 25.1419 afferma semplicemente che è raccomandato effettuare una verifica del comportamento del velivolo e dei suoi sistemi per quanto concerne il volo condotto in presenza di cristalli di ghiaccio.

I cristalli di ghiaccio sono anche citati nel UK MOD STAN ed alcune differenze sono riscontrabili rispetto a ciò che è contenuto nelle JAR/FAR. Ad esempio, i diametri dei cristalli sono simili, ma il contenuto dei cristalli e la lunghezza delle nuvole sono differenti. Si ricorda che, in linea di principio, le nuvole formate dai cristalli di ghiaccio non sono ritenute pericolose in quanto i cristalli non riescono ad aderire alle superfici esterne dei velivoli. Nonostante ciò studi ulteriori dovrebbero essere effettuati per valutare, in particolare, la capacità dei cristalli di ghiaccio di aderire su di una superficie sulla quale sia già presente del ghiaccio.

12.2.2) Formazioni di ghiaccio dovute a condizioni meteorologiche particolari

Come già detto, il diametro medio delle gocce d'acqua riportato nella JAR/FAR-25 Appendice C varia tra 15 e 50 micron; inoltre la pioggia congelantesi e la pioviggine congelantesi non vengono nemmeno contemplate nella documentazione in questione.

In appendice C, i diagrammi LWC-MVD (Fig. 12.1) mostrano chiaramente che i valori più alti di LWC si verificano in corrispondenza delle temperature più alte e dei valori più bassi di MVD. In altre parole la probabilità che una goccia d'acqua esista allo stato sopraffuso diminuisce all'aumentare del diametro della goccia stessa. Quindi, normalmente, la maggior parte dell'acqua è contenuta in gocce di diametro piccolo. Alcuni recenti esperimenti tuttavia, hanno dimostrato che la precedente affermazione non è sempre corretta. Inoltre è importante sottolineare che il ghiaccio generato dalle SLD può provocare un degrado delle prestazioni del velivolo maggiore di quello immaginato nella modellizzazione delle condizioni descritte nell'appendice C.

Per quanto concerne la pioggia congelantesi (*freezing rain*) e la pioviggine congelantesi (*freezing drizzle*) va puntualizzato che esse sono precipitazioni conosciute già da lungo tempo, ciò nonostante, sia i meteorologi che i piloti hanno considerato, fino a poco tempo fa, questi fenomeni pericolosi solo alle basse quote (generalmente, al di sotto dei 1000 metri). Oggi invece è chiaro che un incontro con tali precipitazioni può avvenire anche a quote maggiori (anche 3000 metri) ed a

temperature sensibilmente basse (addirittura -15°C). Ciò sembra essere causato dalla turbolenza atmosferica presente all'estremità delle nuvole che, grazie al fenomeno della coalescenza, fa sì che piccole particelle d'acqua sopraffusa si aggregino in gocce ben più grosse prima di cadere sotto forma di *'freezing rain'* o di *'freezing drizzle'*.

È importante chiarire infine che non è semplice dare una definizione di SLD: ad esempio è stato dimostrato che il solo MVD è un parametro insufficiente per caratterizzare un incontro di SLD. Infatti il MVD rappresenta solo il valore medio del diametro delle particelle d'acqua all'interno di una determinata formazione nuvolosa, mentre il ghiaccio reale è generato dalla presenza di gocce di varia grandezza. In altri termini, nel momento in cui si assiste alla reale formazione di ghiaccio, quello che veramente conta è il concreto spettro delle gocce d'acqua che concorrono alla formazione di tale contaminante; in pratica è possibile assistere anche a rilevanti formazioni di ghiaccio in presenza di valori relativamente bassi di MVD, laddove lo spettro delle particelle d'acqua che concorrono alla formazione del ghiaccio sia caratterizzato da notevoli quantitativi d'acqua associati alle particelle di diametro maggiore. Tenendo in mente le suddette considerazioni, nella pratica comune, le SLD sono spesso definite come particelle caratterizzate dai seguenti valori: MVD di circa $200\ \mu\text{m}$, LWC $0.3\ \text{g/m}^3$ e temperatura di circa -5°C . Inoltre ricerche e studi in quest'ambito sono ancora in corso: il motivo principale è che la maggior parte dei dati sono stati raccolti in Nord America ed in Europa, ma, per validare definitivamente tali valori, sono necessari dati aggiuntivi provenienti da altre aree geografiche.

Un'ultima considerazione poi è che, anche dai dati disponibili, risulta difficile definire esattamente il contenuto d'acqua associato alle SLD: gli strumenti classici (CSIRO King, Johnson-Williams) per la misura di tale parametro infatti sono calibrati solo per gocce di piccolo diametro e pertanto sono soggetti ad errori non trascurabili nel momento in cui si tenta di misurare il LWC associato a particelle di grande diametro. Il LWC calcolato invece con strumenti ottici quali il FSSP, OAP o PDPA è soggetto ad errori intrinseci dell'ordine del 50-150%; per di più, con tali strumenti, anche la semplice misura del diametro delle gocce può essere problematica in quanto risulta difficile distinguere i cristalli di ghiaccio dalle reali particelle d'acqua presenti all'interno della formazione nuvolosa.

13) GLOSSARIO

AC	'Advisory Circular'. Circolare contenente raccomandazioni.
ACJ	'Advisory Circular Joint Aviation Authorities'. Circolare contenente raccomandazioni.
AD	'Airworthiness Directive'. Direttiva di aeronavigabilità.
AEA	'Association of European Airlines'. Associazione delle Compagnie aeree europee.
AFM	'Aircraft Flight Manual'. Manuale del velivolo preparato dal costruttore.
AGL	'Above Ground Level'. Sul livello del suolo.
Aileron snatching	Fenomeno per cui l'alettone, a causa di una improvvisa inversione dei momenti di cerniera, viene violentemente ed inaspettatamente portato, dalle forze aerodinamiche, a fondo corsa.
AIRMET	Messaggio meteorologico riguardante fenomeni pericolosi rilevati o previsti a livelli di volo inferiori a FL 100, o FL 150 su zone montagnose; i fenomeni oggetto di questo bollettino possono essere previsti, ma anche osservati direttamente dai piloti. In particolare vengono emessi quando si verificano uno o più dei seguenti fenomeni: vento al suolo superiore ai 30 kts, visibilità al suolo inferiore ai 5000 m, temporali isolati/occasionalmente con grandine, oscuramento delle montagne, nubi di copertura almeno 5/8 e base sotto i 300 m, cumulonembi occasionali/isolati/frequenti, moderata formazione di ghiaccio, moderata turbolenza fuori da nubi convettive e moderate onde orografiche.
Airplane	Velivolo.
ANPAC	Associazione Nazionale Piloti Aviazione Civile.
Antighiaccio	Procedura precauzionale che protegge il velivolo, per un periodo di tempo limitato, dalla formazione di ghiaccio, neve o brina. Può essere svolta in una o in due fasi: nel

Anti-icing	primo caso il fluido contemporaneamente sghiaccia e protegge la superficie interessata, nel secondo caso la superficie viene prima solamente sghiacciata e, solo successivamente, viene cosparsa di fluido protettivo.
AOA	In alternativa, sistema di protezione dal ghiaccio avente lo scopo di impedire la formazione di ghiaccio sulle parti protette. Vedi antighiaccio.
AOM	'Angle of Attack'. Angolo di incidenza: a volte è indicato anche con α .
APU	'Aircraft Operating Manual'. Manuale operativo del velivolo (preparato dalla compagnia sulla base del AFM).
ATC	'Auxiliary Power Unit'. Motore ausiliario, non di spinta.
ATC	'Air Traffic Control'. Controllo del traffico aereo.
ATR	'Avion de Transport regional'. Velivolo Italo/Francese per il trasporto regionale.
Boot	Sistema pneumatico di protezione dal ghiaccio.
Braking action	Azione frenante.
Bridging	Fenomeno per cui il ghiaccio solidifica, a guisa di ponte, lasciando una camera d'aria entro la quale la membrana dei 'boots' può gonfiarsi e sgonfiarsi liberamente senza però riuscire a rompere il ghiaccio.
Buffet	Fenomeno caratterizzato da vibrazioni sul velivolo causate dalla separazione del flusso aerodinamico.
Carburetor icing chart	Diagrammi di formazione del ghiaccio per motori a carburatore.
CCN	'Cloud Condensation Nuclei'. Nuclei di condensazione.
CCR	'Certification Check Requirement'. Requisito previsto dal controllo di certificazione.
Cd	'Drag coefficient'. Coefficiente di resistenza.
C.G.	'Center of Gravity'. Centro di gravità.
Ch	'Hinge moment coefficient'. Coefficiente dei momenti di cerniera.
CHE	'Cloud Horizontal Extent'. Estensione orizzontale delle nubi.
CIRA	Centro Italiano Ricerche Aerospaziali.

CI	'Lift coefficient'. Coefficiente di portanza.
Clα	Inclinazione della retta che rappresenta il coefficiente di portanza in funzione dell'angolo d'incidenza.
Clean aircraft concept	Concetto di velivolo libero da ogni tipo di contaminazione.
Clear ice	Ghiaccio vitreo. Una forma di ghiaccio trasparente, traslucido. Denominato anche ghiaccio vetrone o 'glaze ice'.
Cl_{MAX}	'Maximum lift coefficient'. Coefficiente di portanza massimo.
Cm	'Pitch moment coefficient'. Coefficiente dei momenti di beccheggio.
Cockpit	Cabina di pilotaggio.
Cold soaked	Fenomeno per cui le ali dei velivoli equipaggiati con serbatoi integrali possono permanere a temperature di gran lunga inferiori rispetto a quelle ambiente.
Collection efficiency	Parametro adimensionale usato per misurare la capacità di un corpo di accumulare acqua in volo.
Commuter	Classe di velivoli usati per il trasporto regionale.
Continuous maximum icing	Ghiaccio massimo continuativo.
Cp	Pressure coefficient. Coefficiente del campo di pressioni/depressioni del profilo alare.
CRT	'Cathode Ray Tube'. Tubo a raggi catodici.
CSIRO King	'Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization': strumento utilizzato per misurare il contenuto liquido.
CVR	'Cockpit Voice Recorder'. Registratore vocale di bordo.
Decision point	Punto previsto dalla certificazione per la pianificazione di una rotta che preveda il sorvolo di ostacoli di altezza rilevante.
Deicing	Sghiacciamento.
DGAC	'Direction General de l'Aviation Civil'. Direzione Generale dell'Aviazione Civile.
Downwash	Variazione del flusso aerodinamico prodotto dall'ala.
E	'Collection efficiency'. Vedi 'collection efficiency'.
Economical fuel	Quantità di carburante supplementare economicamente conveniente.

EEDI	'Electro-Expulsive De-icing'. Sistema particolare di sghiacciamento basato sulle forze elettro-respingenti.
EGT (TGT)	'Exhaust Gas Temperature'. Temperatura dei gas di scarico di un motore a getto.
EIDI	'Electro-Impulse De-icing'. Sistema particolare di sghiacciamento basato su impulsi elettrici.
EPR	'Engine Pressure Ratio'. Particolare rapporto di pressioni (PT7/PT2) usato per misurare la spinta di un motore a getto.
EURICE	'European Research on aircraft Ice Certification'. Sigla indicante una ricerca finanziata dalla comunità europea avente per scopo lo studio ed il miglioramento dei criteri di certificazione dei velivoli per operazioni condotte in condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ghiaccio.
F	Forza.
FAA	'Federal Aviation Administration' (USA). Amministrazione civile dell'aviazione statunitense.
FAR	'Federal Aviation Requirement'. Requisiti dell'amministrazione civile dell'aviazione statunitense.
FDR	'Flight Data Recorder'. Registratore dei dati di volo.
Flap	Sistema di ipersostentazione installato sul bordo d'uscita alare.
Flap overspeed	Superamento della massima velocità ammessa con una data deflessione dei flap.
FOD	'Foreign Object Damage'. Danni causati dall'impatto o dall'ingestione nel motore di oggetti esterni.
FP	'Freezing point'. Punto o temperatura di congelamento.
FPD	'Freezing Point Depressant Fluids'. Fluidi in grado di abbassare il punto di congelamento dell'acqua.
Freezing drizzle	Piovggine congelantesi.
Freezing level	L'altitudine minore alla quale è possibile misurare una temperatura esterna di 0°C.
Freezing rain	Pioggia congelantesi.
FSS	Stazioni che forniscono informazioni meteorologiche: ubicazioni dei sistemi

FSSP	frontali, i 'PIREP' disponibili, la copertura del cielo, le temperature ed i venti registrati.
Fuel trimmer	'Forward Scattering Spectrometer Probe': strumento utilizzato per la misura del diametro delle goccioline.
Full hot Ghiaccio brinoso	Dispositivi che consentono di variare il rapporto stechiometrico del combustibile/carburante. Massimo caldo/calore. Ghiaccio di colore bianco opaco o lattiginoso formato dal congelamento rapido di gocce d'acqua sopraffusa sulle parti esposte di un aeromobile.
Ghiaccio granuloso	Ghiaccio granulare di colore bianco opaco o lattiginoso formato dal congelamento rapido di gocce d'acqua sopraffusa sulle parti esposte di un aeromobile.
Ghiaccio misto	Combinazione di ghiaccio vitreo e ghiaccio granuloso.
Ghiaccio vitreo	Ghiaccio vitreo. Una forma di ghiaccio trasparente, traslucido formato dal lento congelamento di particelle d'acqua sopraffusa di grandi dimensioni.
Glaze ice Graupel h	Ghiaccio vitreo. Vedi ghiaccio vitreo. Neve leggera, neve granulosa. Proiezione dell'altezza di un oggetto. Indica anche 'ora' intesa come unità di misura del tempo.
h/c	Roughness height. Altezza della rugosità diviso la corda del profilo.
Holdover time	Il tempo stimato utile ad impedire la formazione di brina, neve o ghiaccio su di una determinata superficie. Tale periodo comincia all'inizio dell'ultimo trattamento antighiaccio e termina quando tale trattamento perde d'efficacia.
Hub	Aeroporto di particolare importanza con funzione di punto di raccolta di voli provenienti da più località.
IAS ICAO	'Indicated Air Speed'. Velocità indicata. 'International Civil Aviation Organization'. Organizzazione dell'Aviazione Civile Internazionale.
Ice bridging	Fenomeno per cui il ghiaccio solidifica, a guisa di ponte, lasciando una camera d'aria

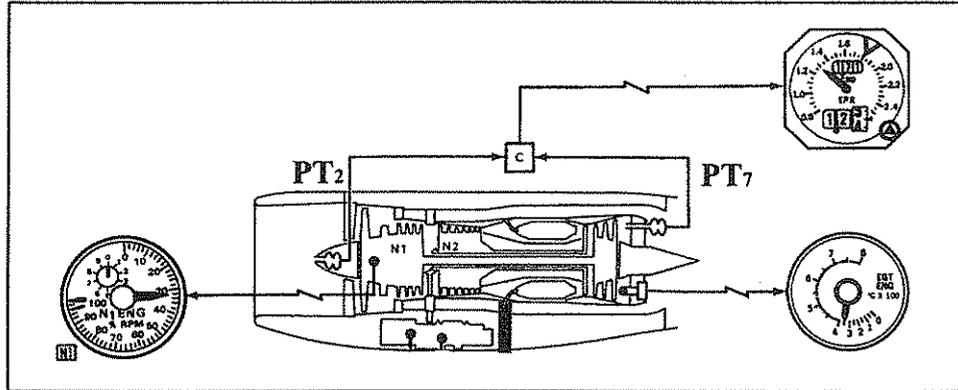
Ice detector	entro la quale la membrana dei 'boots' può gonfiarsi e sgonfiarsi liberamente senza però riuscire a rompere il ghiaccio. Sensori per l'individuazione della formazione del ghiaccio.
Ice pellets Icing certified	Granuli di ghiaccio. Certificato per volare in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio.
ICN	'Ice Condensation Nuclei'. Nuclei di condensazione di ghiaccio.
ICRU	'Ice Contaminated Roll Upset'. Fenomeno che provoca la perdita di stabilità statica laterale causato dalla presenza di ghiaccio sull'ala.
ICTS	'Ice Contaminated Tailplane Stall'. Stallo del piano orizzontale di coda causato dalla presenza di ghiaccio su tale superficie.
Idle	Posizione della manetta motore corrispondente al valore minimo di spinta/potenza erogabile.
IFR	'Instrument Flight Rules'. Regole del volo strumentale.
Ignition	Termine generico per indicare il sistema di accensione dei motori.
IGV	'Inlet Guide Vanes'. Schiera di palette statoriche del primo stadio di un compressore assiale.
ILS	'Instrument Landing System'. Sistema di atterraggio strumentale.
IMC	'Instrument Meteorological Conditions'. Condizioni meteorologiche strumentali.
Intermittent maximum icing ISO	Ghiaccio massimo intermittente. 'International Organization for Standardization'. Organizzazione internazionale per la definizione degli standard.
JAA	'Joint Aviation Authorities'. Autorità civile dell'aviazione europea.
JAR	'Joint Aviation Requirements'. Requisiti dell'autorità civile dell'aviazione europea.
J-W (Johnson-Williams)	'Johnson-Williams': strumento utilizzato per misurare il contenuto liquido.
KIAS	'Knots Indicated Air Speed'. Unità di misura in nodi della velocità indicata: 1 kias=1852m/h.
LFD	'LeFt wing Down'. Velivolo inclinato a sinistra.

LWC	'Liquid Water Content': la massa totale d'acqua (espressa in grammi) contenuta in tutte le goccioline liquide presenti in un volume di aria pari ad un metro cubo.
Mach	Numero di Mach. Indica la velocità di un velivolo rispetto al valore della velocità del suono.
Mach overspeed	Superamento del massimo numero di Mach ammesso.
MEA (MSEA)	'Minimum safe En route Altitude'. Minima quota in rotta rispondente a determinati criteri di sicurezza.
MEL	'Minimum Equipment List' Lista contenente gli equipaggiamenti minimi per consentire il volo di un velivolo.
METAR	Messaggio di routine con il quale vengono comunicate le osservazioni effettuate ad un determinato orario in un aeroporto. Di solito ha cadenza oraria o semioraria.
Mh	'Hinge moment'. Momento di cerniera.
Minimum crossing altitude	Altitudine minima di sorvolo.
Mixed ice	Ghiaccio misto. Vedi ghiaccio misto.
MSL	'Mean sea level'. Livello medio del mare.
MVD	'Median Volumetric Diameter': il diametro della gocciolina che divide il quantitativo d'acqua presente esattamente a metà. Il valore è ottenuto misurando realmente la dimensione della particella.
NACA	'National Advisory Committee for Aeronautics'. Comitato consultivo statunitense per l'aeronautica.
NASA	'National Aeronautics and Space Administration'. Amministrazione nazionale per l'aeronautica e lo spazio. Ente aerospaziale statunitense subentrato al preesistente 'NACA'.
Nose-up	A cabrare.
Notice of Proposed Amendment	Avviso di emendamento proposto.
NPA	'Notice of proposed amendment'. Avviso di emendamento proposto.
NTSB	'National Transportation Safety Board'. Comitato per la sicurezza dei trasporti.
Nube mista	Un particolare tipo di nube la cui temperatura è inferiore a 0°C ed è composta da neve, particelle di ghiaccio e goccioline d'acqua.

N1	Numero dei giri del compressore di bassa pressione.
OAP	'Optical Array Probe': strumento per la misura del diametro delle goccioline.
OAT	'Outside Air Temperature'. Temperatura esterna dell'aria.
One step procedure	Procedura antighiaccio eseguita in una fase.
PDPA	'Phase Doppler Particle Analyzer': strumento per la misura del diametro delle goccioline d'acqua.
Peltier	Effetto per il quale quando un conduttore - costituito da due metalli, A e B, distinti e saldati tra di loro - viene percorso dalla corrente, allora la saldatura tra A e B si raffredda o si riscalda in base al verso della circolazione della corrente.
PIIP	'Pneumatic Impulse De-icing'. Sistema particolare di sghiacciamento basato su impulsi pneumatici.
PIO	'Pilot Induced Oscillations'. Oscillazioni involontarie causate dal pilota.
PIREP	'Pilot Weather REports'. Messaggio che descrive il tempo meteorologico effettivamente riscontrato dal pilota. Richiede la trasmissione delle seguenti informazioni: tipo di messaggio, posizione del velivolo (luogo, orario, livello di volo), tipo di aeromobile e vari elementi riflettenti il tempo meteorologico effettivamente riscontrato. Può essere diffuso via telescrivente o trasmesso da selezionate radioassistenze alla navigazione. Questo sistema di rapporto meteorologico è usato principalmente negli Stati Uniti.
Pista 3R a DTW	Codice identificativo di pista: pista 03 destra all'aeroporto di Detroit.
Pitot	Sonda per la misura della pressione totale (e, a volte, anche statica) dell'aria.
PT2	Compressor inlet total pressure. Pressione totale d'ingresso del compressore.

PT7

'Engine exhaust gas total pressure'.
Pressione totale d'uscita del motore.



Push-back

Operazione che consiste nello spingere un velivolo con un apposito veicolo.

Pusher

Sistema automatico che spinge energeticamente la barra di pilotaggio in avanti.

RAT

'Ram Air Temperature'. Temperatura dell'aria in movimento.

Rime ice

Ghiaccio granuloso. Vedi ghiaccio granuloso.

Riming

Fenomeno consistente nell'aumento delle dimensioni dei cristalli di ghiaccio e dei fiocchi di neve a causa dell'impatto tra questi e le gocce d'acqua presenti in una nuvola.

Rpm

'Revolution per minute'. Giri al minuto.

Run-back

Scorrimento all'indietro (lungo le superfici del velivolo) delle gocce d'acqua che non riescono a congelarsi nel momento in cui colpiscono l'aeromobile.

Running-wet

Sistema di protezione dal ghiaccio (del tipo 'anti-icing') la cui energia non consente la completa evaporazione dell'acqua, ma ne lascia una parte allo stato liquido libera di scorrere lungo le superfici del velivolo.

RWD

'Right wing down'. Velivolo inclinato a destra.

SAE

'Society of Automotive Engineers'. Associazione avente lo scopo di definire gli standard da utilizzare per la progettazione e l'uso dei velivoli e dei veicoli.

SAS

'Stability Augmentation System'. Sistema per aumentare la stabilità di un velivolo.

SAT

'Static Air Temperature'. Temperatura dell'aria in quiete.

Sghiacciamento

Procedimento attraverso il quale la brina, la neve ed il ghiaccio vengono rimossi dal velivolo.

Shaker

Vedi 'stick shaker'.

SID

'Standard Instrument Departure'. Partenza strumentale standard.

SIGMET

Messaggio meteorologico riguardante fenomeni pericolosi per il volo previsti, osservati o riportati. In particolare viene emesso quando si verificano uno o più dei seguenti fenomeni: zona temporalesca attiva, temporale con forte grandine, ciclone tropicale, linea di groppi forte, grandine forte, turbolenza forte/turbolenza forte in aria chiara, formazione di ghiaccio forte, onde orografiche marcate, estesa tempesta di sabbia o di polvere, ceneri vulcaniche.

Situation awareness

Avere coscienza della situazione in atto.

Slat

Sistema di ipersostentazione installato sul bordo d'attacco dell'ala.

SLD

'Supercooled Large Droplet'. Grosse gocce d'acqua sopraffusa.

Slot time

Finestra temporale disponibile per il decollo.

SNOTAM

'NOTAM' particolare che notifica la presenza o la rimozione di condizioni pericolose per le normali operazioni provocate dalla presenza di neve, ghiaccio, neve satura o acqua stagnante sull'area di movimento.

SPECI

Special meteorological observation reports. Messaggio speciale selezionato delle condizioni meteorologiche osservate ad un orario indicato su di un aeroporto. Emesso di solito da una stazione secondaria ogni qualvolta si verifica una variazione significativa.

SSW

'Snow/Slush, standing Water tables'. Tabelle usate per determinare le prestazioni di decollo e di atterraggio di un velivolo su piste contaminate.

Stagnation point

Punto di ristagno: punto su di una superficie dove la velocità locale è nulla.

Step ice	Ghiaccio a forma di gradino.
Stick shaker	Sistema automatico che introduce delle oscillazioni simulate sulla barra di comando per fornire al pilota delle sensazioni assimilabili a quelle caratteristiche di uno stallo.
Strakes	Appendici aerodinamiche, generatrici di vortici, spesso installate sulle parti anteriori dei velivoli.
SWH	'Significative Weather chart High altitude'. Carta meteorologica del tempo significativo a quote alte.
SWL	'Significative Weather chart Low altitude'. Carta meteorologica del tempo significativo a quote basse.
SWM	'Significative Weather chart Medium altitude'. Carta meteorologica del tempo significativo a quote intermedie.
TAF	Messaggio con il quale vengono comunicate le previsioni delle condizioni meteorologiche relative ad un aeroporto per un periodo di tempo specificato e di eventuali variazioni significative di vento, visibilità generale, fenomeni meteorologici e nubi.
TAT	'Total Air Temperature'. Temperatura totale dell'aria.
TGT (EGT)	'Turbine Gas Temperature'. Temperatura dei gas di scarico di un motore a getto.
T.O.T.	'Turbine Outlet Temperature'. Temperatura dei gas di scarico di un motore a getto.
TREND	Sezione terminale di un 'METAR' o 'SPECI' contenente la tendenza prognostica.
Trim	Posizione della barra di comando tale per cui tutte le forze agenti sul velivolo risultano equilibrate.
Tuft	Cordoncini usati sulle ali di alcuni velivoli come 'ice-detector'.
Two step procedure	Procedura antighiaccio in due fasi
Uncommanded	Non voluto dal pilota.
VR	'Take-Off rotation speed'. Velocità di rotazione.
V₁	'Take-Off decision speed'. Velocità di decisione.
Water tanker	Velivolo equipaggiato con un serbatoio di acqua ed un sistema di spruzzatori per

Wide body	provocare la formazione di ghiaccio sull'aeromobile che segue.
Wind-shear	Velivoli di grosse dimensioni con due corridoi in cabina passeggeri.
Zero-g pushover	Variazioni repentine di intensità e/o direzione del vento.
	Particolare manovra per verificare l'autorità del piano di coda in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio.

Classificazione delle nubi

Una delle possibili classificazioni delle nubi può essere la seguente: nubi a sviluppo verticale, nubi basse, nubi medie e nubi alte.

Nubi a sviluppo verticale:

Cb	I Cumulonembi sono nubi a grande sviluppo verticale; possono estendersi praticamente dal suolo fino alla tropopausa, sono frequenti in primavera ed estate e sono associati a forti precipitazioni, turbolenza, ghiaccio e grandine.
Cu	I Cumuli hanno la base piatta e la cima arrotondata. Anche questo tipo di nube può avere un discreto sviluppo verticale.

Nubi basse:

St	Gli Strati sono nubi tipicamente autunnali od invernali, comunemente in prossimità del suolo, con uno spessore tipico di 200-400 metri e generalmente associate a pioviggine, pioggia o neve.
Sc	Gli Stratocumuli hanno una forma stratificata, ma con le cime rotondeggianti.

Nubi medie:

As	Gli Altostrati sono nubi stratificate opache o semi-trasparenti.
Ns	I Nembostrati sono nubi grigie compatte, la cui base tende ad essere generalmente tra i 2000-2500 metri e che apportano normalmente pioggia o neve.
Ac	Gli Altocumuli sono nubi disposte a macchia di leopardo le cui cime sono tondeggianti e con svariate protuberanze.

Nubi alte:

- Ci** I Cirri sono nubi biancastre di forma filamentosa od ad uncino.
- Cs** I Cirrostrati sono nubi che danno origine a quei veli biancastri che generalmente preannunciano lo stabilirsi di un'area depressionaria.
- Cc** I Cirrocumuli sono nubi composte da finissimi cristalli di ghiaccio che danno origine a dei piccoli fiocchi bianchi.

Le Precipitazioni

- SN** Neve. La neve deriva dalla sublimazione del vapore delle nubi in cristalli a struttura esagonale che, raccogliendosi in soffici fiocchi, cadono lentamente. Nelle nubi che producono questa precipitazione, data la grande presenza di cristalli, la possibilità di riscontrare formazioni di ghiaccio, specialmente moderate o severe, è alquanto remota.
- SG** Nevischio. Si forma quando, durante la caduta, la neve incontra correnti d'aria meno fredde, ma comunque ad una temperatura tale da provocare soltanto una parziale fusione del ghiaccio. In tal modo avviene l'agglomerazione delle parti componenti ogni singolo fiocco e la formazione del nevischio. Nelle nubi che producono questa precipitazione sono possibili formazioni di ghiaccio sul velivolo.
- GS** Grandine piccola e/o granuli di neve. Ghiaccio amorfo con diametro inferiore a 5 mm: si forma per successive solidificazioni. Nelle nubi che producono tale precipitazione è possibile riscontrare la presenza di un certo quantitativo d'acqua in sospensione.
- FZDZ** Pioviggine congelantesi. Pioggia leggera che solidifica non appena raggiunge il suolo o tocca una superficie solida.
- FZRA** Pioggia congelantesi. Pioggia che solidifica non appena raggiunge il suolo o tocca una superficie solida.
- PE** Ice pellets. Granuli di ghiaccio: generalmente associati ad una precipitazione liquida che,

RA
DZ

$\overset{s}{m}$
 α
 δ

ϵ
 i_h

Unita di misura

$^{\circ}\text{C}$
cm
 $^{\circ}\text{F}$
ft
g
lb
hP
hp

in
Kg
Km/h
Kt
Kw
m
mm
Nm
psig

s
shp

w
 μm

attraversando uno strato più freddo, passa da liquida a solida .
Pioggia.
Pioviggine.

Simboli

Portata d'acqua.
Angolo di incidenza.
Angolo di deflessione di una superficie di comando di un profilo.
Downwash.
Angolo d'incidenza geometrica del piano orizzontale di coda.

Celsius.
Centimetro.
Fahrenheit.
Piede.
Grammo.
Libra.
Hecto Pascal.
Horse power. Unità di misura della potenza.
1hp=745.7 W.
Pollice.
Chilogrammi.
Chilometri all'ora.
Nodo.
KiloWatts.
Metro.
Millimetri.
Miglio nautico.
Pressione: Pound per square inch gauge (1 psig = 68.9 Hecto Pascal).
Secondo.
Shaft horse power. Potenza misurata sull'albero della turbina di potenza.
Watt.
Micron: un milionesimo di metro.

14) BIBLIOGRAFIA

Meteorologia

- [1] 'The Physics of clouds', B.J. Mason, Clarendon Press- Oxford, 1971
- [2] 'Aircraft icing; meteorology, protective systems, instrumentation, and certification' four-day aerospace short course provided by the university of Kansas
- [3] Icing web site by Cooperative Program for Operational Meteorology, Education and Training (COMET) of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) under sponsorship of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (<http://meted.ucar.edu/icing/>)

Aerodinamica e ghiaccio

- [4] 'Computer simulation of aircraft and engine icing phenomena' a one-day course workshop organized by Concordia University and CFD LAB and CERCA
- [5] 'Wind tunnel wing section performance with de/anti-icing fluids and freezing precipitation', M. Oleskiw, P.J. Penna (NRC Canada)
- [6] 'Sheldon, Modern Airfoil Ice Accretion's, H. E., Addy, Jr., M.G., Potapczuk and D.W., NASA TM 107423, AIAA-97 0174, January, 1997.
- [7] 'Effect of Icing, De-icing, and Heavy Rain on Aircraft Performance', AGARD-FDP-VKI, Lecture series at the VKI, Rhode Saint Genèse, Belgium, 24-28 February 1997.
- [8] 'Airfoil performance Degradation by Supercooled Large Cloud, Drizzle, and Rain Drop Icing', R. Ashenden, W. Lindberg, J. D. Marwitz, B. Hoxie, Journal of Aircraft, Vol. 33, No. 6, November-December 1996.
- [9] 'Predicting Rime Ice Accretion on Airfoils', M. B., Bragg, G.M., AIAA Journal, Vol. 23, No 3, March. 1985.
- [10] 'Airfoil aerodynamics in Icing Conditions', M. B., Bragg, G.M., Gregorek, and J.D.Lee, Journal of Aircraft, Vol. 23, No 1,p 1372-1378, Aug. 1986.
- [11] 'Aircraft Aerodynamic Effects Due to Large Droplet Ice Accretions', M. B., Bragg, AIAA-96-0932, 34th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, January 15-18, 1996/ Reno, NV.
- [12] 'Effects of Simulated-Spanwise Ice Shapes on Airfoils: Experimental Investigation', S. Lee, M.B. Bragg, AIAA-99-0092, 37th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, January 11-14, 1999/ Reno, NV.

- [13] 'Ice Shapes and the Resulting Drag Increase for an NACA 0012 Airfoil', W. Olsen, R. Shaw, and J. Newton, NASA Technical Memorandum 83556, 1984.
- [14] 'An Experimental Investigation of Multi Element Airfoil Ice Accretion And Resulting Performance Degradation', M. G. Potapczuk and B. M. Berkowitz, AIAA-89-0752, 27th Aerospace Sciences Meeting, Jan 1989.
- [15] 'Aerodynamic Performance Effects due to Small leading-Edge Ice (Roughness) on Wings and Tails', W. O. Valarezo, F. T. Lynch and R. J., McGhee, Journal of Aircraft, Vol. 30, No 6,p 807-812, Nov. 1993.

Operazione aeronautiche condotte in condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio

- [16] 'Understanding the process of ice accretion', FAST Airbus Technical Digest number 16, C. La Burthe, April 1994
- [17] 'Icing: accretion, Detection, Protection' AGARD lecture series Flight in Adverse Environment, John J. Reinman, November 1994
- [18] 'Ice on your tail can be deadly' Professional pilot, J. Roskam, December 1994
- [19] 'Freezing drizzle towards a better knowledge and a better protection', ATR, 11/5/1995
- [20] FAA, Ground deicing and anti-icing training and cheking, AC 135-16

Documenti del progetto EURICE

- [21] EURICE CI-BA1TR1 'D-B of icing related accidents and incidents: General information and data analysis' G. Mingione, M. Sutton
- [22] EURICE RA3TN2 'Review of accident and incident due to airframe icing for transport category aircraft' V. Fiorini
- [23] EURICE DL 01 TN 003 'Database of Icing Related Accidents and Incidents: In-flight Airframe Icing over Europe' T. Hauf
- [24] EURICE IN02TR01 (TR12) 'Result of INTA EURICE flights', O. Serrano
- [25] EURICENL02TR13 (TR13) 'Results of NLR EURICE flights', H. Jentink
- [26] EURICEDL2TR13 (TR13) 'DLR FLIGHT CAMPAIGN final report', T. Hauf, F. Schroeder
- [27] EURICECI2TN4 'Theoretical analysis of three icing events from DLR EURICE flight campaign', G. Mingione

- [28] EURICE MO21TN1 'The meteorological analysis of two flights encountering severe icing', R. Brown
- [29] EURICELU3TR18 'WP3.1.1 and WP3.2.1 Current regulation analysis' P. Render, M. Simpson
- [30] EURICELU3TR20-21 'WP3.1.2 Review of certification requirements and review of operational requirements', P. Render, M. Simpson
- [31] EURICE CI03TN02 'Critical Review and Analysis: final report', G. Mingione, A. Amendola
- [32] EURICEUP03TN001 'Results of interviews carried out by University of Pisa - Interim Report', E. Denti, C. Bindi
- [33] EURICE BA31TN002 'Effectiveness of ice protection systems', M. Sutton
- [34] EURICE AS33TN001 'Ice detection (ground/flight)', D. Cailhol
- [35] EURICE LU33TR001 'Weather prediction and reporting, Language', P. Render, M. Simpson
- [36] EURICE33TR22-001 'Information and Training', P. Render, M. Simpson
- [37] EURICE NL03TN02 'Effectiveness of procedures and recommendations', P. Render, M. Simpson
- [38] EURICE UP03TN002 'Validity of the current Appendix C', E. Denti, C. Bindi
- [39] EURICE LU33TR23-001 'Operation training and flight simulation', P. Render, M. Simpson
- [40] EURICE 'Final report', A. Amendola, G. Mingione
- [41] EURICE 'WP3 Final Report', D. Cailhol, G. Mingione
- [42] EURICE 'WP1 Final Report', G. Mingione
- [43] EURICE 'WP2 Final Report', T. Hauf

Documentazione specifica di alcuni aeromobili

- [44] ATR, All weather operations
- [45] British Aerospace Jetstream aircraft limited, *Jetstream 41 think ice*
- [46] AP68TP Viator Pilot's operating handbook and flight manual
- [47] MD80 Aircraft flight manual Pilot's operating handbook and flight manual
- [48] B767 Aircraft flight manual Pilot's operating handbook and flight manual

Documenti delle Autorità Aeronautiche

- [49] FAA/JAA harmonization group document: *Ice protection*. 13 Aug. 1997.
- [50] *Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes - Appendix C*. U.S. Department of Transportation, FAA, Federal Aviation Regulation, FAR part 25, Washington D.C., 1974.
- [51] *Aircraft Icing Handbook*. U.S. Department of Transportation, DOT/FAA/CT-88/8-1, 1991.
- [52] 'In-Flight Icing Operation and Training Recommendations', Flight Standards Information Bulletin for Air transportation (FSAT), F-SAT 97-03
- [53] 'Ground deicing and anti-icing training and checking' Advisory Circular 135-16 12/12/94
- [54] 'FAA-Approved deicing program updates, winter 1997-98', Flight Standards Information Bulletin for Air transportation (FSAT), F-SAT 97-10B
- [55] 'Proceedings of the FAA International Conference on Aircraft in-flight icing' DOT/FAA/AR-96/81, FAA, 1996
- [56] 'NTSB Safety Recommendation', Jane F. Garvey (FAA) (A-98-88 through 106) 16/11/1998 (Embraer accident)
- [57] 'Piston Engine icing', General aviation safety sense leaflet 14A, Civil aviation authority
- [58] 'Winter flying', General aviation safety sense leaflet 3B, Civil aviation authority
- [59] 'Safety Report, Aircraft icing avoidance and protection', NTSB-SR-81-1
- [60] DGAC/FAA ATR Symposium, 4/12/96

Incidenti ed inconvenienti di volo accaduti a causa della formazione di ghiaccio

- [61] 'Reviews of accidents and incidents attributed to icing and winter operations', DE-ICING '93, A. Frank Taylor. Cranfield aviation safety center
- [62] 'The U.S. Accident Report Blames Wing Ice and Airline Industry/FAA failures in fatal Fokker Crash', Flight safety foundation, J. A. Pope, April 1993
- [63] 'Statistical study of aircraft icing accidents', AIAA 91-0558, J. Cole and W. Sand
- [64] 'NTSB Factual report aviation incident/accident', British Aerospace 3101, 1/30/1991, USA
- [65] 'NTSB Factual report aviation incident/accident', Fairchild SA227TT, 1/4/93, USA

- [66] 'NTSB Factual report aviation incident/accident', Cessna 182H, 3/9/94, USA (givrage du carburator, pas significative)
- [67] 'NTSB Factual report aviation incident/accident', Fokker 28, 22/3/1992, USA (New York)
- [68] 'NTSB Factual report aviation incident/accident', British Aerospace 3100, 1/12/1993, USA
- [69] 'Ice Caused Indiana ATR42/72 Crash', B.D. Nordwall NSTB, Aviation Week & Space Technology, July 15-1996.

APPENDICE: TABELLE USATE PER DETERMINARE I TEMPI DI 'HOLDOVER'

Generalità

Il tempo di 'holdover' rappresenta il periodo stimato durante il quale i fluidi protettivi impediscono la formazione di ghiaccio o di altri contaminanti solidi sulle superfici del velivolo. L'inizio del periodo di 'holdover' corrisponde al momento in cui comincia l'applicazione del fluido protettivo e termina nel momento in cui, in accordo con i valori riportati nelle apposite tabelle, si suppone che il fluido applicato perda la sua efficacia. L'efficacia dei fluidi utilizzati per le procedure di sghiacciamento e/o antighiaccio è, soprattutto, funzione di alcune variabili: temperatura ambiente, tipo di fluido, sua concentrazione e tipo di precipitazione. Tali variabili ed i corrispondenti tempi di 'holdover' vengono sintetizzati in apposite griglie e presentati in forma tabellare per una più agevole e rapida consultazione da parte degli equipaggi. Le predette tabelle vanno utilizzate durante la fase pre-volo per coordinare, in funzione delle varie condizioni e dei previsti tempi di attesa, l'intervento protettivo più appropriato. In ogni caso si ricorda di far sempre riferimento alla documentazione operativa ufficiale che, non solo specificherà la maniera ideale di effettuare i controlli esterni per sospetta contaminazione, ma indicherà anche il corretto modo di utilizzare le tabelle di 'holdover'.

(1) Fluidi utilizzati per lo sghiacciamento:

- (i) Acqua calda.
- (ii) Miscela calda di acqua e di fluidi SAE/ISO tipo I.
- (iii) Miscela calda di acqua e di fluidi SAE/ISO tipo II o IV.

Nota: per massimizzare l'efficacia del processo di sghiacciamento i vari tipi di fluidi vengono applicati caldi.

(2) Fluidi antighiaccio:

- (i) Miscela di acqua e di fluidi SAE/ISO tipo I.
- (ii) Fluidi SAE/ISO tipo II o IV.
- (iii) Miscela di acqua e di fluidi SAE/ISO tipo II o IV.

Nota: dopo aver effettuato lo sghiacciamento del velivolo i fluidi antighiaccio SAE/ISO di tipo II o di tipo IV sono, normalmente, applicati freddi sulle superfici dell'aeromobile per assicurare un tempo di 'holdover' maggiore.

Al momento sono utilizzati prevalentemente tre tipi di fluidi: i fluidi SAE/ISO tipo I, usati prevalentemente per lo sghiacciamento, ed i fluidi SAE/ISO tipo II o IV, utilizzati essenzialmente per le procedure antighiaccio. L'esperienza ha dimostrato

che la viscosità propria dei fluidi di tipo II è in grado di penalizzare sensibilmente le capacità portanti dei velivoli con basse velocità di rotazione. Perciò una nuova categoria di fluidi antighiaccio, classificati di tipo III, è stata realizzata. La capacità antighiaccio dei fluidi di tipo III è compresa tra quella dei fluidi di tipo I e quella dei fluidi di tipo II. Tuttavia, rispetto ai fluidi di tipo II, i fluidi di tipo III sono di gran lunga meno viscosi e così possono essere eliminati facilmente durante la corsa di decollo anche da quei velivoli la cui velocità di rotazione non supera i 100 kias circa. Al momento, comunque, i fluidi di tipo III (a volte denominati anche fluidi di tipo 1,5) non sono commercialmente prodotti, né è chiaro se in futuro saranno resi disponibili.

Caratteristiche dei fluidi.

(1) Fluidi di tipo I.

- (i) Non viscosi.
- (ii) Limitati tempi di *'holdover'*.
- (iii) Quando spruzzati formano una sottile pellicola liquida sulle superfici.

(2) Fluidi di tipo II.

- (i) Viscosi.
- (ii) Tempi di *'holdover'* maggiori rispetto a quelli dei fluidi di tipo I.
- (iii) Quando spruzzati formano una pellicola gelatinosa di moderato spessore sulle superfici.
- (iv) La velocità e quindi gli sforzi di taglio fanno sì che i fluidi abbandonino le superfici del velivolo durante la corsa di decollo.

(3) Fluidi di tipo III.

- (i) Viscosi.
- (ii) Tempi di *'holdover'* maggiori rispetto a quelli dei fluidi di tipo I e quelli di tipo II.
- (iii) Quando spruzzati formano una pellicola gelatinosa di moderato spessore sulle superfici.
- (iv) La velocità e quindi gli sforzi di taglio fanno sì che i fluidi abbandonino le superfici del velivolo durante la corsa di decollo.

LE TABELLE DI "HOLDOVER" vengono costantemente aggiornate ed affinate anno dopo anno. Durante le operazioni di volo usare solo le tabelle approvate dagli enti SAE/ISO. Le tabelle presentate nelle pagine seguenti rappresentano semplicemente degli esempi e perciò, tali tabelle, NON DEVONO ESSERE USATE NELLE OPERAZIONI DI VOLO.

**QUESTO E' SOLO UN ESEMPIO: NON USARE NELLE OPERAZIONI DI VOLO.
TABELLA 1 - Tempi di "holdover" per una miscela di acqua e fluidi SAE di tipo I in funzione delle condizioni meteorologiche e dell'OAT.**

ATTENZIONE: QUESTA TABELLA VA USATA DURANTE LA PREPARAZIONE AL VOLO ED INSIEME AI CONTROLLI PRE-DECOLLO.

OAT		Tempi di 'holdover' approssimativi per diverse condizioni meteorologiche (ore: minuti)					
°C	°F	BRINA *	NEBBIA CONGELANTESI	NEVE	PIOVIGGINE CONGELANTE-SI **	PIOGGIA CONGELANTESI	PIOGGIA SU ALI CON SERBATOI INTEGRALI A TEMP. MOLTO FREDE
sopra 0	sopra 32	0:45	0:12-0:30	0:06-0:15	0:05-0:08	0:02-0:05	0:02-0:05
da 0 a -10	da 32 a 14	0:45	0:06-0:15	0:06-0:15	0:05-0:08	0:02-0:05	ATTENZIONE: Il ghiaccio vitreo potrebbe richiedere un controllo tattile
sotto -10	sotto 14	0:45	0:06-0:15	0:06-0:15			

°C Gradi Celsius; °F Gradi Fahrenheit; OAT Temperatura dell'aria esterna; FP Punto di congelamento.
LA RESPONSABILITA' PER L'USO DI QUESTI DATI RIMANE DELL'UTENTE.

* Durante le condizioni atmosferiche in grado di generare la brina sulle superfici del velivolo.
** Usare i tempi per la pioggia congelantesi se non si è in grado di identificare la pioviggine congelantesi.

La concentrazione della miscela di acqua e fluidi SAE tipo I va scelta in modo tale che il suo FP sia almeno 10°C (18°F) al di sotto dell'OAT.

ATTENZIONE: LA DURATA DEL TEMPO DI PROTEZIONE PUO' RIDURSI IN CONDIZIONI METEOROLOGICHE SEVERE. PRECIPITAZIONI INTENSE O ALTA UMIDITA', VENTI INTENSI O 'JET BLAST' POSSONO RIDURRE L'HOLD-OVER TIME AL DI SOTTO DI QUANTO RIPORTATO IN QUESTA TABELLA. L'HOLD-OVER TIME PUO' ANCHE ESSERE RIDOTTO SE LA TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE ALARE E' INFERIORE ALLA TEMPERATURA DELL'ARIA.
ATTENZIONE: I FLUIDI SAE TIPO I USATI DURANTE LE PROCEDURE DI SGHIACCIAMENTO/ANTIGHIACCIO AL SUONO NON FORNISCONO ALCUNA PROTEZIONE DURANTE IL VOLO.

Effettivo dal 1 ottobre 1997

**QUESTO E' SOLO UN ESEMPIO: NON USARE NELLE OPERAZIONI DI VOLO.
TABELLA 2 - Tempi di "holdover" per una miscela di acqua e fluidi SAE di tipo II in funzione delle condizioni meteorologiche e dell'OAT. VEDI NOTE A PAGINA SUCCESSIVA.**

ATTENZIONE: QUESTA TABELLA VA USATA DURANTE LA PREPARAZIONE AL VOLO ED INSIEME AI CONTROLLI PRE-DECOLLO.

OAT		Concentrazione fluido SAE tipo IV	Tempi di 'holdover' approssimativi per diverse condizioni meteorologiche (ore:minuti)						
°C	°F	Fluido-acqua (Vol %/Vol %)	BRINA *	NEBBIA CONGELANTESI	NEVE	PIOVIGGINE CONGELANTESI ***	PIOGGIA CONGELANTESI	PIOGGIA SU ALI CON SERBATOI INTEGRALI A TEMP. MOLTO FREDE	
sopra 0	sopra 32	100/0	12:00	1:15-3:00	0:20-1:00	0:30-1:00	0:15-0:30	0:10-0:40	
		75/25	6:00	0:50-2:00	0:15-0:40	0:20-0:45	0:10-0:25	0:05-0:25	
		50/50	4:00	0:20-0:45	0:05-0:15	0:10-0:20	0:05-0:10		
da 0 a -3	da 32 a 27	100/0	8:00	0:35-1:30	0:20-0:45	0:30-1:00	0:15-0:30		
		75/25	5:00	0:25-1:00	0:15-0:30	0:20-0:45	0:10-0:25		
		50/50	3:00	0:15-0:45	0:05-0:15	0:10-0:20	0:05-0:10		
da	da	100/0	8:00	0:35-1:30	0:15-0:40	**0:30-1:00	**0:10-0:30		
-3 a -14	27 a 7	75/25	5:00	0:25-1:00	0:15-0:30	**0:20-0:45	**0:10-0:25		
da -14 a -25	da 7 a -13	100/0	8:00	0:20-1:30	0:15-0:30				
sotto -25	sotto -13	100/0							

I Fluidi SAE Tipo II possono essere usati sotto -25°C (-13°F) se la temperatura di congelamento della soluzione è almeno 7°C (13°F) al di sotto dell'OAT e le prestazioni aerodinamiche sono soddisfatte. Si prenda in considerazione la possibilità di usare fluidi SAE TIPO I quando i fluidi SAE tipo II non possono essere usati.

°C Gradi Celsius
 °F Gradi Fahrenheit
 OAT Temperatura dell'aria esterna
 VOL Volume

LA RESPONSABILITA' PER L'USO DI QUESTI DATI RIMANE DELL'UTENTE.

- * Durante le condizioni atmosferiche in grado di generare la brina sulle superfici del velivolo.
- ** Non esiste alcuna indicazione di 'holdover time' per temperature al di sotto di -10 °C (14 °F).
- *** Usate i tempi per la pioggia congelantesi se non si è in grado di identificare la pioggia congelantesi.

222

ATTENZIONE: LA DURATA DEL TEMPO DI PROTEZIONE PUO' RIDURSI IN CONDIZIONI METEOROLOGICHE SEVERE. PRECIPITAZIONI INTENSE O ALTA UMIDITA', VENTI INTENSI O 'JET BLAST' POSSONO RIDURRE L'HOLDOVER TIME AL DI SOTTO DI QUANTO RIPORTATO IN QUESTA TABELLA. L'HOLDOVER TIME PUO' ANCHE ESSERE RIDOTTO SE LA TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE ALARE E' INFERIORE ALLA TEMPERATURA DELL'ARIA.

ATTENZIONE: I FLUIDI SAE TIPO II USATI DURANTE LE PROCEDURE DI SGHIACCIAMENTO/ANTIGHIACCIO AL SUONO NON FORNISCONO ALCUNA PROTEZIONE DURANTE IL VOLO.

Effettivo dal 1 ottobre 1997

QUESTO E' SOLO UN ESEMPIO: NON USARE NELLE OPERAZIONI DI VOLO. TABELLA 3 - Tempi di "holdover" per una miscela di acqua e fluidi SAE di tipo IV in funzione delle condizioni meteorologiche e dell'OAT. VEDI NOTE A PAGINA SUCCESSIVA.

ATTENZIONE: QUESTA TABELLA VA USATA DURANTE LA PREPARAZIONE AL VOLO ED INSIEME AI CONTROLLI PRE-DECOLLO.

OAT	Concentrazione fluido SAE tipo IV		Tempi di 'holdover' approssimativi per diverse condizioni meteorologiche (ore:minuti)							
	°C	°F	Fluido-acqua (Vol %/Vol %)	BRINA *	NEBBIA CONGELANTESI	NEVE	PIOVIGGINE CONGELANTESI ***	PIOGGIA CONGELANTESI	PIOGGIA SU ALI CON SERBATOI INTEGRALI A TEMP. MOLTO FREDDA	
oltre 0			100/0	18:00	2:20-3:00	0:45-1:25	0:40-1:00	0:35-0:55	0:10-0:50	
			75/25	6:00	1:05-2:00	0:20-0:40	0:30-1:00	0:15-0:30	0:05-0:35	
			50/50	4:00	0:20-0:45	0:05-0:20	0:10-0:20	0:05-0:10		
da 0 a -3	da 32 a 27		100/0	12:00	2:20-3:00	0:35-1:00	0:40-1:00	0:35-0:55	ATTENZIONE: Il ghiaccio vitreo potrebbe richiedere un controllo tattile	
			75/25	5:00	1:05-2:00	0:20-0:35	0:30-1:00	0:15-0:30		
			50/50	3:00	0:20-0:45	0:05-0:15	0:10-0:20	0:05-0:10		
da -3 a -14	da 27 a 7		100/0	12:00	0:40-3:00	0:20-0:40	**0:30-1:00	**0:30-0:45		
da -14 a -25	da 7 a -13		75/25	5:00	0:35-2:00	0:15-0:30	**0:30-1:00	**0:15-0:30		
			100/0	12:00	0:20-2:00	0:15-0:30				
sotto -25	sotto -13		100/0							

223

I Fluidi SAE Tipo IV possono essere usati sotto -25°C (-13°F) se la temperatura di congelamento della soluzione è almeno 7°C (13°F) al di sotto dell'OAT e le prestazioni aerodinamiche sono soddisfatte. Si prenda in considerazione la possibilità di usare fluidi SAE TIPO I quando i fluidi SAE tipo IV non possono essere usati.

°C Gradi Celsius
 °F Gradi Fahrenheit
 OAT Temperatura dell'aria esterna
 VOL Volume

LA RESPONSABILITA' PER L'USO DI QUESTI DATI RIMANE DELL'UTENTE.

- * Durante le condizioni atmosferiche in grado di generare la brina sulle superfici del velivolo.
- ** Non esiste alcuna indicazione di 'holdover time' per temperature al di sotto di -10 °C (14 °F).
- *** Usare i tempi per la pioggia congelantesi se non si è in grado di identificare la pioviggine congelantesi.

ATTENZIONE: LA DURATA DEL TEMPO DI PROTEZIONE PUO' RIDURSI IN CONDIZIONI METEOROLOGICHE SEVERE. PRECIPITAZIONI INTENSE O ALTA UMIDITA', VENTI INTENSI O 'JET BLAST' POSSONO RIDURRE L'HOLDOVER TIME AL DI SOTTO DI QUANTO RIPORTATO IN QUESTA TABELLA. L'HOLDOVER TIME PUO' ANCHE ESSERE RIDOTTO SE LA TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE ALARE E' INFERIORE ALLA TEMPERATURA DELL'ARIA.

ATTENZIONE: I FLUIDI SAE TIPO IV USATI DURANTE LE PROCEDURE DI SGHIACCIAMENTO/ANTIGHIACCIO AL SUOLO NON FORNISCONO ALCUNA PROTEZIONE DURANTE IL VOLO.

Effettivo dal 1 ottobre 1997

QUESTO E' SOLO UN ESEMPIO: NON USARE NELLE OPERAZIONI DI VOLO.
TABELLA 3A - Tempi di "holdover" per una miscela di acqua e fluidi ULTRA+® di tipo IV in funzione delle condizioni meteorologiche e dell'OAT. VEDI NOTE A PAGINA SUCCESSIVA.
ATTENZIONE: QUESTA TABELLA VA USATA DURANTE LA PREPARAZIONE AL VOLO ED INSIEME AI CONTROLLI PRE-DECOLLO.

OAT		Concentrazione fluido SAE tipo IV		Tempi di 'holdover' approssimativi per diverse condizioni meteorologiche (ore:minuti)						
°C	°F	Fluido-acqua (Vol %/Vol %)		BRINA *	NEBBIA CONGELANTESI	NEVE	PIOVIGGINE CONGELANTESI ***	PIOGGIA CONGELANTESI	PIOGGIA SU ALI CON SERBATOI INTEGRALI A TEMP. MOLTO FREDE	
oltre 0	oltre 32	100/0	18:00	2:20-3:00	0:50-1:40	1:00-2:00	0:35-1:00	0:10-0:50		
		****75/25								
		****50/50								
da 0 a -3	da 32 a 27	100/0	12:00	2:20-3:00	0:35-1:15	1:00-2:00	0:35-1:00			
		****75/25								
		****50/50								
da -3 a -14	da 27 a 7	100/0	12:00	0:40-3:00	0:25-0:55	**0:50-1:35	**0:30-0:50			
		****75/25								
da -14 a -24	da 7 a -11	100/0	12:00	0:20-2:00	0:20-0:45					
sotto -24	sotto -11	100/0								

ATTENZIONE: Il ghiaccio vitreo potrebbe richiedere un controllo tattile

ATTENZIONE: I fluidi ULTRA+® Tipo IV non devono essere usati al di sotto di -24°C (-13°F). Si prenda in considerazione la possibilità di usare i fluidi SAE TIPO I quando i fluidi SAE ULTRA+® tipo IV non possono essere usati.

°C Gradi Celsius
 °F Gradi Fahrenheit
 OAT Temperatura dell'aria esterna
 VOL Volume

LA RESPONSABILITA' PER L'USO DI QUESTI DATI RIMANE DELL'UTENTE.

- * Durante le condizioni atmosferiche in grado di generare la brina sulle superfici del velivolo.
- ** Non esiste alcuna indicazione di 'holdover time' per temperature al di sotto di -10 °C (14 °F).
- *** Usare i tempi per la pioggia congelantesi se non si è in grado di identificare la pioggia congelantesi.
- **** I tempi di Holdover per 50/50 e 75/25 non sono più validi

ATTENZIONE: LA DURATA DEL TEMPO DI PROTEZIONE PUO' RIDURSI IN CONDIZIONI METEOROLOGICHE SEVERE. PRECIPITAZIONI INTENSE O ALTA UMIDITA', VENTI INTENSI O 'JET BLAST' POSSONO RIDURRE L'HOLDOVER TIME AL DI SOTTO DI QUANTO RIPORTATO IN QUESTA TABELLA. L'HOLDOVER TIME PUO' ANCHE ESSERE RIDOTTO SE LA TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE ALARE E' INFERIORE ALLA TEMPERATURA DELL'ARIA.

ATTENZIONE: I FLUIDI SAE ULTRA+® TIPO IV USATI DURANTE LE PROCEDURE DI SGHIACCIAMENTO/ANTIGHIACCIO AL SUOLO NON FORNISCONO ALCUNA PROTEZIONE DURANTE IL VOLO.

Effettivo dal 1 ottobre 1997

QUESTO E' SOLO UN ESEMPIO: NON USARE NELLE OPERAZIONI DI VOLO.

TABELLA 3B - Tempi di "holdover" per una miscela di acqua e fluidi OCTAGON MAX-FLIGHT® di tipo IV in funzione delle condizioni meteorologiche e dell'OAT. VEDI NOTE A PAGINA SUCCESSIVA.

ATTENZIONE: QUESTA TABELLA VA USATA DURANTE LA PREPARAZIONE AL VOLO ED INSIEME AI CONTROLLI PRE-DECOLLO.

OAT		Concentraz. fluido SAE tipo IV	Tempi di 'holdover' approssimativi per diverse condizioni meteorologiche (ore:minuti)					
°C	°F		BRINA *	NEBBIA CONGELANTESI	NEVE	PIOVIGGINE CONGELANTESI ***	PIOGGIA CONGELANTESI	PIOGGIA SU ALI CON SERBATOI INTEGRALI A TEMP. MOLTO FREDE
oltre 0	oltre 32	100/0	18:00	2:20-3:00	1:15-2:00	0:55-2:00	0:40-1:15	0:10-0:50
		75/25	6:00	1:05-2:00	1:20-2:00	1:15-2:00	0:50-1:15	0:05-0:35
		50/50	4:00	0:20-0:45	0:40-1:20	0:55-1:40	0:30-0:55	
da 0 a -3	da 32 a 27	100/0	12:00	2:20-3:00	0:50-1:35	0:55-2:00	0:40-1:15	ATTENZIONE: Il ghiaccio vitreo potrebbe richiedere un controllo tattile
		75/25	5:00	1:05-2:00	0:45-1:45	1:15-2:00	0:50-1:15	
sotto	sotto	50/50	3:00	0:20-0:45	0:40-1:20	0:55-1:40	0:30-0:55	
da -3 a -14	da 27 a 7	100/0	12:00	0:40-3:00	0:25-0:50	**0:30-1:10	**0:30-0:55	
da -14 a -25	da 7 a -13	75/25	5:00	0:35-2:00	0:20-0:50	**0:30-1:05	**0:25-0:35	
sotto -25	sotto -13	100/0	12:00	0:20-2:00	0:20-0:40			
		100/0	I Fluidi SAE OCTAGON MAX-FLIGHT® Tipo IV possono essere usati sotto -25°C (-13°F) se la temperatura di congelamento della soluzione è almeno 7°C (13°F) al di sotto dell'OAT e le prestazioni aerodinamiche sono soddisfatte. Si prenda in considerazione la possibilità di usare fluidi SAE TIPO I quando i fluidi SAE OCTAGON MAX-FLIGHT® tipo IV non possono essere usati.					

°C Gradi Celsius
 °F Gradi Fahrenheit
 OAT Temperatura dell'aria esterna
 VOL Volume

LA RESPONSABILITA' PER L'USO DI QUESTI DATI RIMANE DELL'UTENTE.

- * Durante le condizioni atmosferiche in grado di generare la brina sulle superfici del velivolo.
- ** Non esiste alcuna indicazione di 'holdover time' per temperature al di sotto di -10 °C (14 °F).
- *** Usare i tempi per la pioggia congelantesi se non si è in grado di identificare la pioggia congelantesi.

228

ATTENZIONE: LA DURATA DEL TEMPO DI PROTEZIONE PUO' RIDURSI IN CONDIZIONI METEOROLOGICHE SEVERE. PRECIPITAZIONI INTENSE O ALTA UMIDITA', VENTI INTENSI O 'JET BLAST' POSSONO RIDURRE L'HOLDOVER TIME AL DI SOTTO DI QUANTO RIPORTATO IN QUESTA TABELLA. L'HOLDOVER TIME PUO' ANCHE ESSERE RIDOTTO SE LA TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE ALARE E' INFERIORE ALLA TEMPERATURA DELL'ARIA.

ATTENZIONE: I FLUIDI SAE OCTAGON MAX-FLIGHT® TIPO IV USATI DURANTE LE PROCEDURE DI SGHIACCIAMENTO/ANTIGHIACCIO AL SUOLO NON FORNISCONO ALCUNA PROTEZIONE DURANTE IL VOLO.

Effettivo dal 1 ottobre 1997

QUESTO E' SOLO UN ESEMPIO: NON USARE NELLE OPERAZIONI DI VOLO. TABELLA 3C - Tempi di "holdover" per una miscela di acqua e fluidi KILFROST®ABC-S di tipo IV in funzione delle condizioni meteorologiche e dell'OAT. VEDI NOTE A PAGINA SUCCESSIVA.

ATTENZIONE: QUESTA TABELLA VA USATA DURANTE LA PREPARAZIONE AL VOLO ED INSIEME AI CONTROLLI PRE-DECOLLO.

OAT		Concentraz. fluido SAE tipo IV	Tempi di 'holdover' approssimativi per diverse condizioni meteorologiche (ore:minuti)						
°C	°F		BRINA *	NEBBIA CONGELANTESI	NEVE	PIOVIGGINE CONGELANTESI ***	PIOGGIA CONGELANTESI	PIOGGIA SU ALI CON SERBATOI INTEGRALI A TEMP. MOLTO FREDE	
oltre 0	oltre 32	100/0	18:00	2:20-3:00	1:10-2:00	1:20-1:50	1:00-1:25	0:10-0:50	
		75/25	6:00	1:05-2:00	0:35-1:05	0:50-1:25	0:35-0:50	0:05-0:35	
		50/50	4:00	0:20-0:45	0:05-0:20	0:15-0:25	0:10-0:15		
da 0 a -3	da 32 a 27	100/0	12:00	2:20-3:00	1:00-1:40	1:20-1:50	1:00-1:25		
		75/25	5:00	1:05-2:00	0:35-1:05	0:50-1:25	0:35-0:50		
		50/50	3:00	0:20-0:45	0:05-0:15	0:15-0:25	0:10-0:15		
sotto da -3 a -14	sotto da 27 a 7	100/0	12:00	0:40-3:00	0:45-1:20	**0:50-1:25	**0:35-0:50		
		75/25	5:00	0:35-2:00	0:35-1:05	**0:45-1:00	**0:30-0:45		
		100/0	12:00	0:20-2:00	0:40-1:10				
sotto da -14 a -25	sotto da 7 a -13	100/0							
sotto -25	sotto -13	100/0							

ATTENZIONE: Il ghiaccio vitreo potrebbe richiedere un controllo tattile

I Fluidi SAE KILFROST®ABC-S Tipo IV possono essere usati sotto -25°C (-13°F) se la temperatura di congelamento della soluzione è almeno 7°C (13°F) al di sotto dell'OAT e le prestazioni aerodinamiche sono soddisfatte. Si prenda in considerazione la possibilità di usare fluidi SAE TIPO I quando i fluidi SAE KILFROST®ABC-S @ tipo IV non possono essere usati.

229

°C Gradi Celsius
 °F Gradi Fahrenheit
 OAT Temperatura dell'aria esterna
 VOL Volume

LA RESPONSABILITA' PER L'USO DI QUESTI DATI RIMANE DELL'UTENTE.

- * Durante le condizioni atmosferiche in grado di generare la brina sulle superfici del velivolo.
- ** Non esiste alcuna indicazione di 'holdover time' per temperature al di sotto di -10 °C (14 °F).
- *** Usare i tempi per la pioggia congelantesi se non si è in grado di identificare la pioviggine congelantesi.

ATTENZIONE: LA DURATA DEL TEMPO DI PROTEZIONE PUO' RIDURSI IN CONDIZIONI METEOROLOGICHE SEVERE. PRECIPITAZIONI INTENSE O ALTA UMIDITA', VENTI INTENSI O 'JET BLAST' POSSONO RIDURRE L'HOLDOVER TIME AL DI SOTTO DI QUANTO RIPORTATO IN QUESTA TABELLA. L'HOLDOVER TIME PUO' ANCHE ESSERE RIDOTTO SE LA TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE ALARE E' INFERIORE ALLA TEMPERATURA DELL'ARIA.

ATTENZIONE: I FLUIDI SAE KILFROST®ABC-S TIPO IV USATI DURANTE LE PROCEDURE DI SGHIACCIAMENTO/ANTIGHIACCIO AL SUOLO NON FORNISCONO ALCUNA PROTEZIONE DURANTE IL VOLO.

Effettivo dal 1 ottobre 1997

**QUESTO E' SOLO UN ESEMPIO: NON USARE NELLE OPERAZIONI DI VOLO.
 TABELLA 4 – Linee guida per l'uso delle miscele di acqua e fluidi SAE di tipo II e di tipo IV.
 concentrazioni in % V/V**

Temperatura dell'aria esterna	Procedure deicing/anti-icing effettuate in un'unica fase	Procedure deicing/anti-icing effettuate in due fasi	
		Prima fase: Deicing	Seconda fase: Anti-icing ¹
OAT			
-3° C (27° F) e oltre	Miscela calda al 50/50 di fluidi di Tipo II o IV ed acqua ²	Acqua calda o una miscela calda di fluidi Tipo I, II o IV ed acqua	Miscela fredda al 50/50 di fluidi di Tipo II o IV ed acqua
al di sotto di -3° C (27° F) fino a -14° C (7° F)	Miscela calda al 75/25 di fluidi di Tipo II o IV ed acqua ²	Miscela calda di fluidi Tipo I, II o IV ed acqua con FP non più di 3° C (5° F) oltre l'OAT	Miscela fredda al 75/25 di fluidi di Tipo II o IV ed acqua
da -14° C (7° F) a -25° C (-13° F)	Fluidi caldi di Tipo II o IV applicati con una concentrazione del 100% ²	Miscela calda di fluidi Tipo I, II o IV ed acqua con FP non più di 3° C (5° F) oltre l'OAT	Fluidi freddi di Tipo II o IV applicati con una concentrazione del 100%
da -25° C (-13° F)	I fluidi SAE Tipo II/IV possono essere usati anche sotto -25° C (-13° F) sempre che il FP del fluido sia almeno di 7° C (13° F) al di sotto dell'OAT e che le prestazioni aerodinamiche siano soddisfatte. Si prenda in considerazione la possibilità di usare fluidi SAE Tipo I quando i fluidi SAE Tipo II/IV non possono essere usati.		
Nota: Per fluidi riscaldati la temperatura all'ugello deve essere superiore a 60° C (140° F). La temperatura però non deve essere superiore alle raccomandazioni dei produttori del fluido e del velivolo.			
Attenzione: La temperatura superficiale del velivolo potrebbe essere inferiore a quella dell'aria. In queste condizioni devono essere usate concentrazioni di fluido maggiori.			
1) Da applicare prima che il fluido usato per lo sghiacciamento congeli (Non oltre i 3 minuti).			
2) Il velivolo, una volta sghiacciato, potrebbe essere protetto più a lungo applicando, in una seconda fase, i fluidi protettivi freddi.			

Effettivo dal 1 ottobre 1997