



Iceing



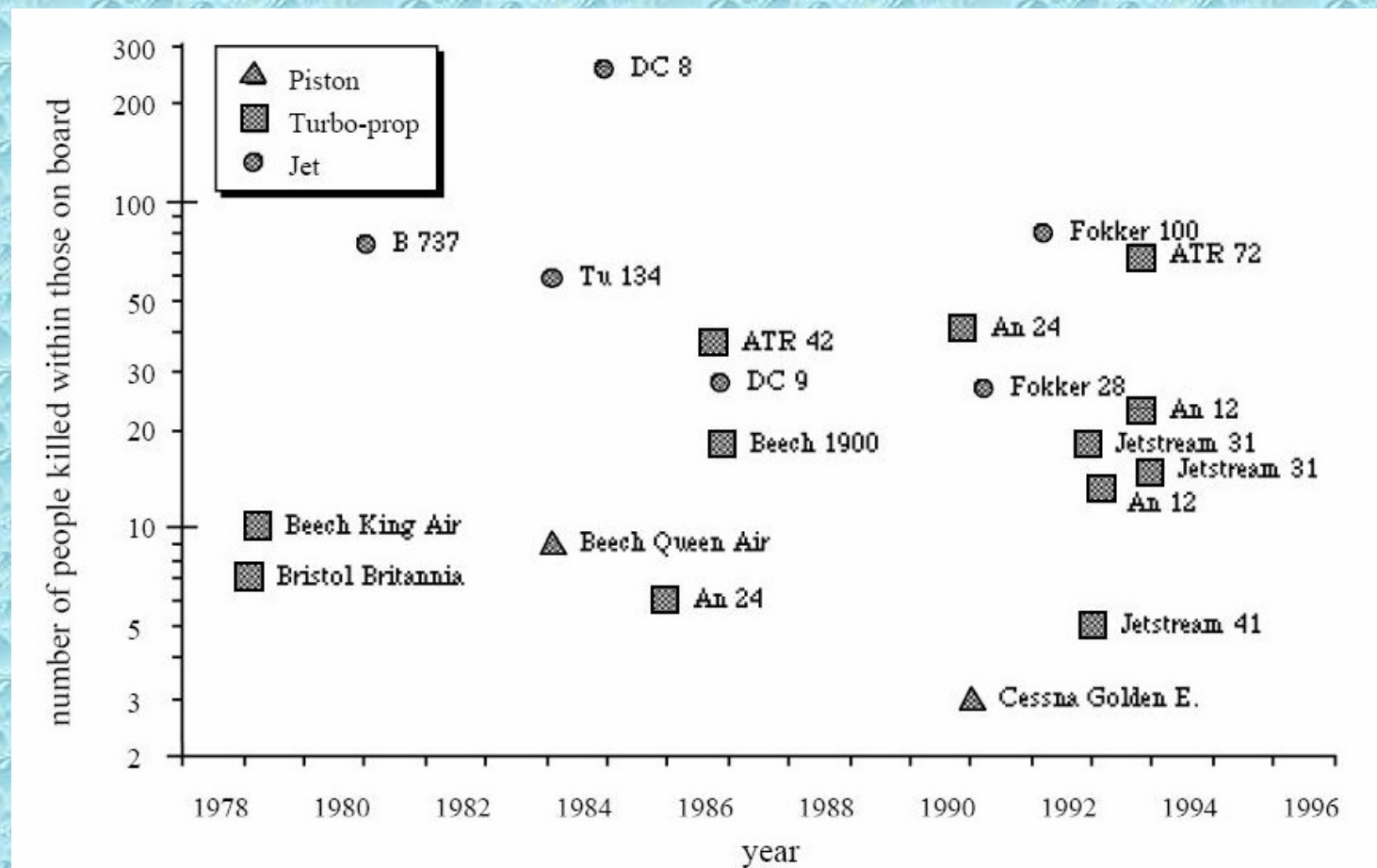
Ross Paulson photography

T.Col. G.A.r.s. Fis. Franco COLOMBO

Argomenti trattati

- Introduzione
- Processi fisici
- I fattori del ghiaccio
- Tipi di ghiaccio
- Effetti del ghiaccio sui velivoli
- Analisi di alcuni incidenti di volo

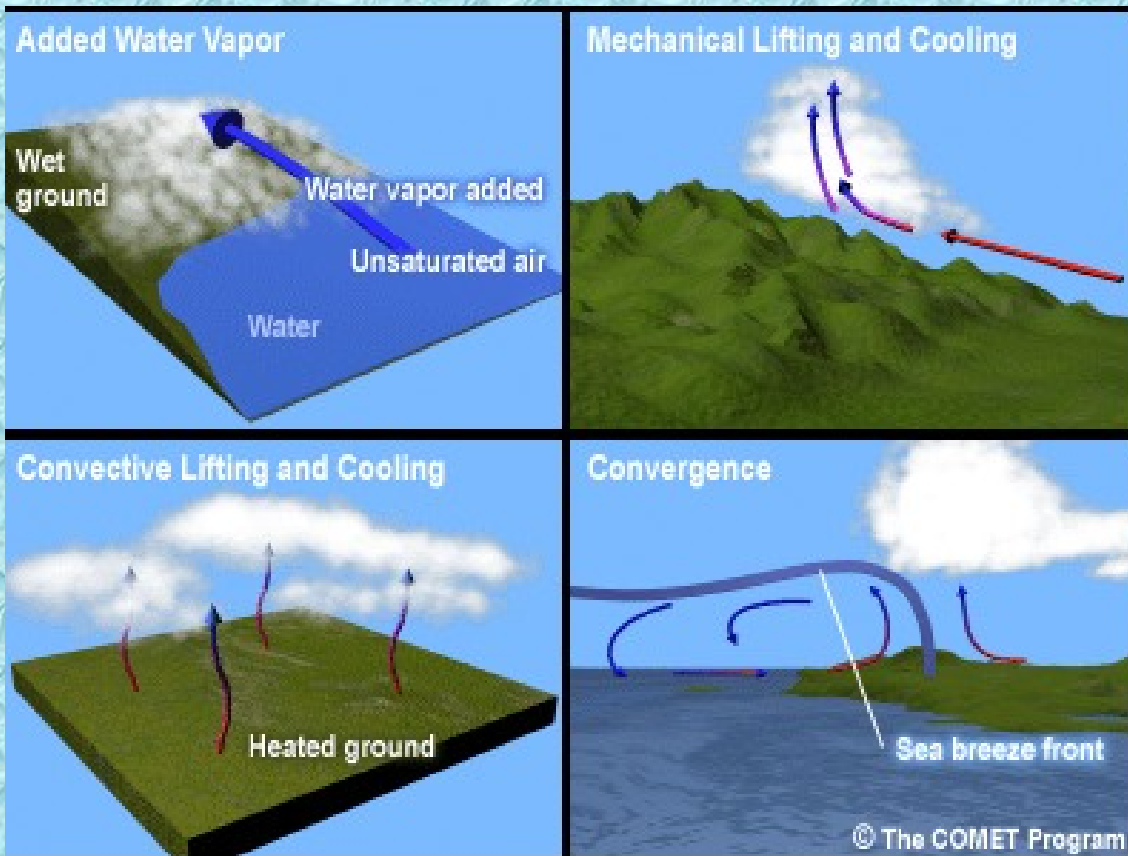
Un po' di statistica



Incidenti mortali provocati dalla formazione di ghiaccio su velivoli con più di 7 persone a bordo (progetto EURICE UNIPi)

1. Non c'è ghiaccio senza nube !

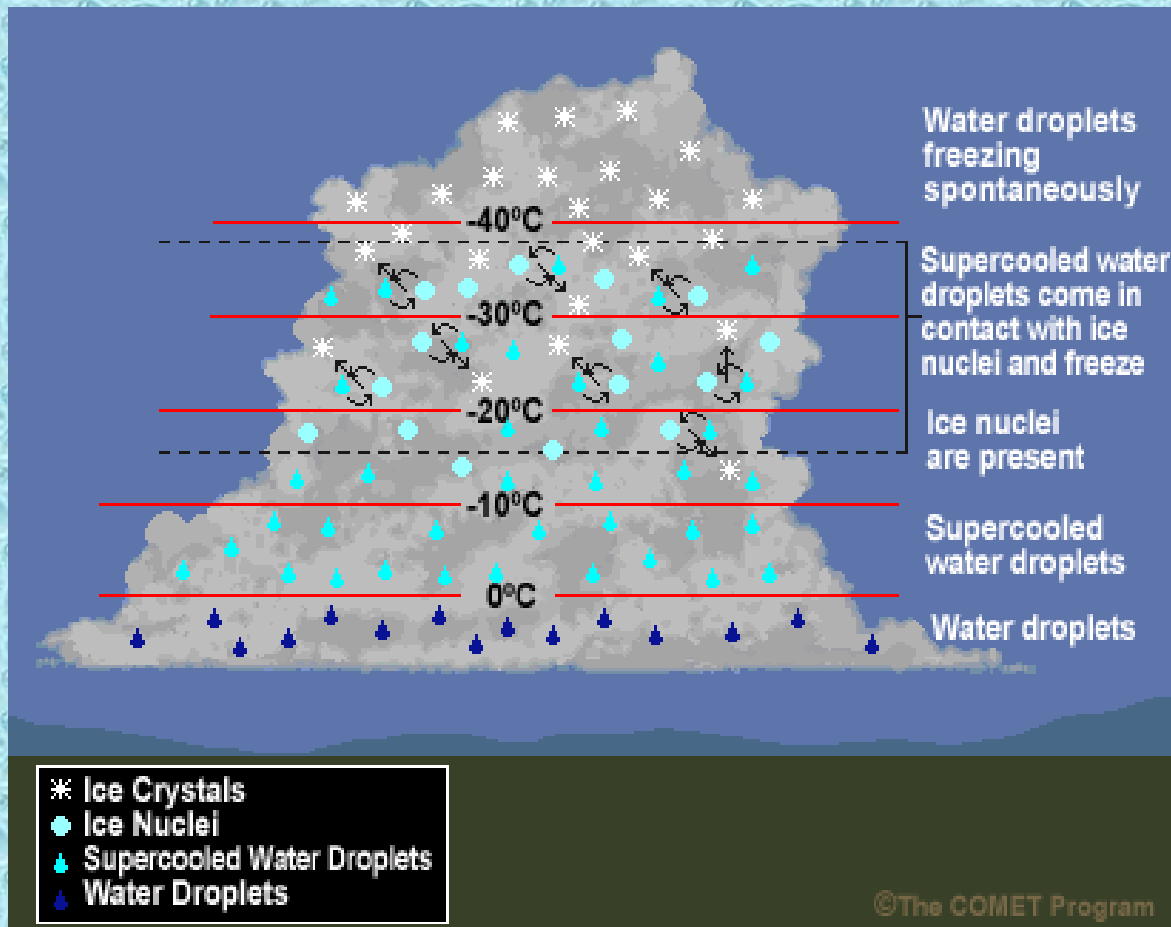
Quasi tutti gli eventi di formazione di ghiaccio si verificano all'interno di nubi. Risulta perciò particolarmente importante avere ben chiare le idee sui meccanismi di formazione delle nubi e sui processi che si sviluppano al loro interno.



Le nubi non sono composte da vapore ma da goccioline d'acqua e/o cristalli di ghiaccio che si formano in atmosfera quando questa diventa satura di vapore. Raggiunta la saturazione le nubi si mantengono attraverso alcuni processi:

- Ulteriore aggiunta di vapore;
- Raffreddamento e sollevamento meccanico (orografico);
- Raffreddamento e sollevamento convettivo;
- Convergenza.

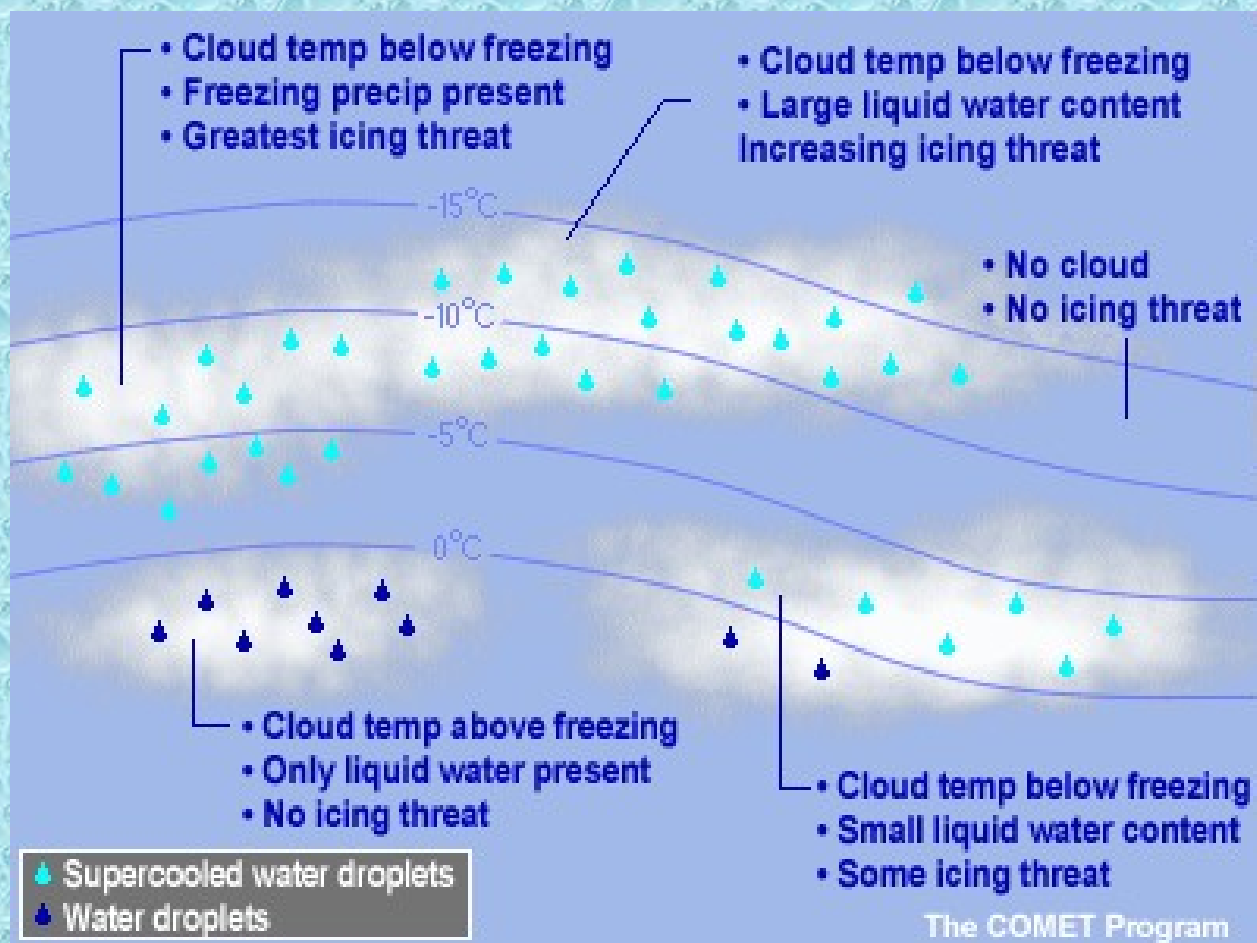
Il processo di congelamento



Il congelamento è il passaggio di stato da liquido a solido. Le goccioline d'acqua presenti nelle nubi possono diventare soprafuse e rimanere in forma liquida anche a temperature di molto inferiori allo zero. Una gocciolina soprafusa può congelare se viene a contatto con un nucleo di ghiaccio. L'efficacia dei nuclei di ghiacci dipende dalla temperatura

A temperature più alte di -15°C , esistono solo pochi nuclei di ghiaccio e le nubi possono essere composte da gocce d'acqua soprafuse. Se una nube presenta una scarsa concentrazione di nuclei di ghiaccio, possono trovarsi delle ampie zone di acqua soprafusa ed il rischio di formazione di ghiaccio diventa alto. A temperature inferiori a -40°C le goccioline d'acqua congelano anche in assenza di nuclei di ghiaccio.

2. Non basta una nube a provocare il ghiaccio!



Tutti i processi di formazione delle nubi comportano un rischio di formazione di ghiaccio, se la temperatura e il contenuto di acqua liquida sono favorevoli. La quantità di goccioline di acqua liquida presente e la temperatura inferiore allo zero sono i fattori chiave per la determinazione del potenziale rischio di ghiacciamento.

3. I fattori che favoriscono la formazione del ghiaccio

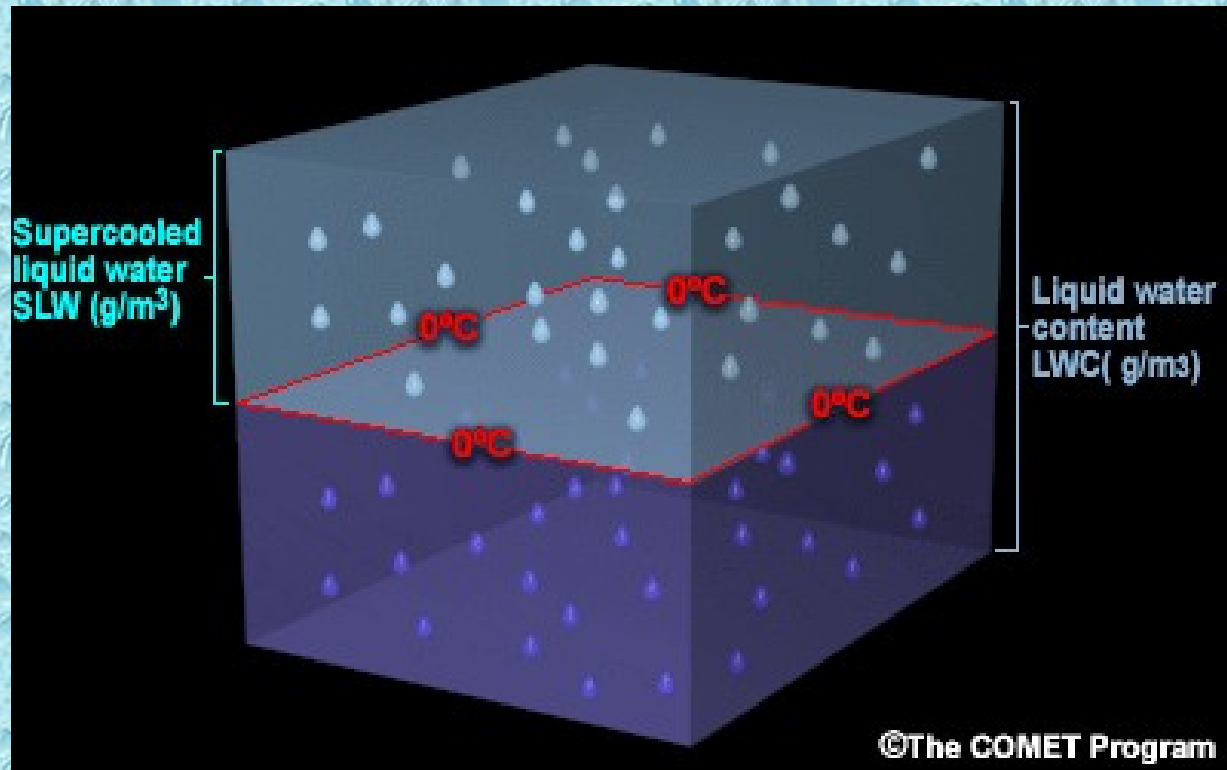


L'intensità e il tipo di ghiaccio , oltre che dalle condizioni atmosferiche, dipendono anche dalle caratteristiche dell'aeromobile. Le conoscenze dei meteorologi esulano spesso dal considerare quest'ultimo fattore e si concentrano soprattutto sulla diagnosi dell'ambiente nel quale si forma il ghiaccio. Nel seguito di questa presentazione vengono descritti i principali parametri meteorologici presi in considerazione nella previsione del rischio di ghiaccio.

Le grandezze meteorologiche direttamente correlate all'intensità e al tipo di ghiaccio sono in ordine di importanza:

- *Contenuto in acqua liquida - Liquid water content (LWC)*
- *Temperatura*
- *Dimensione delle goccioline - Droplet size*

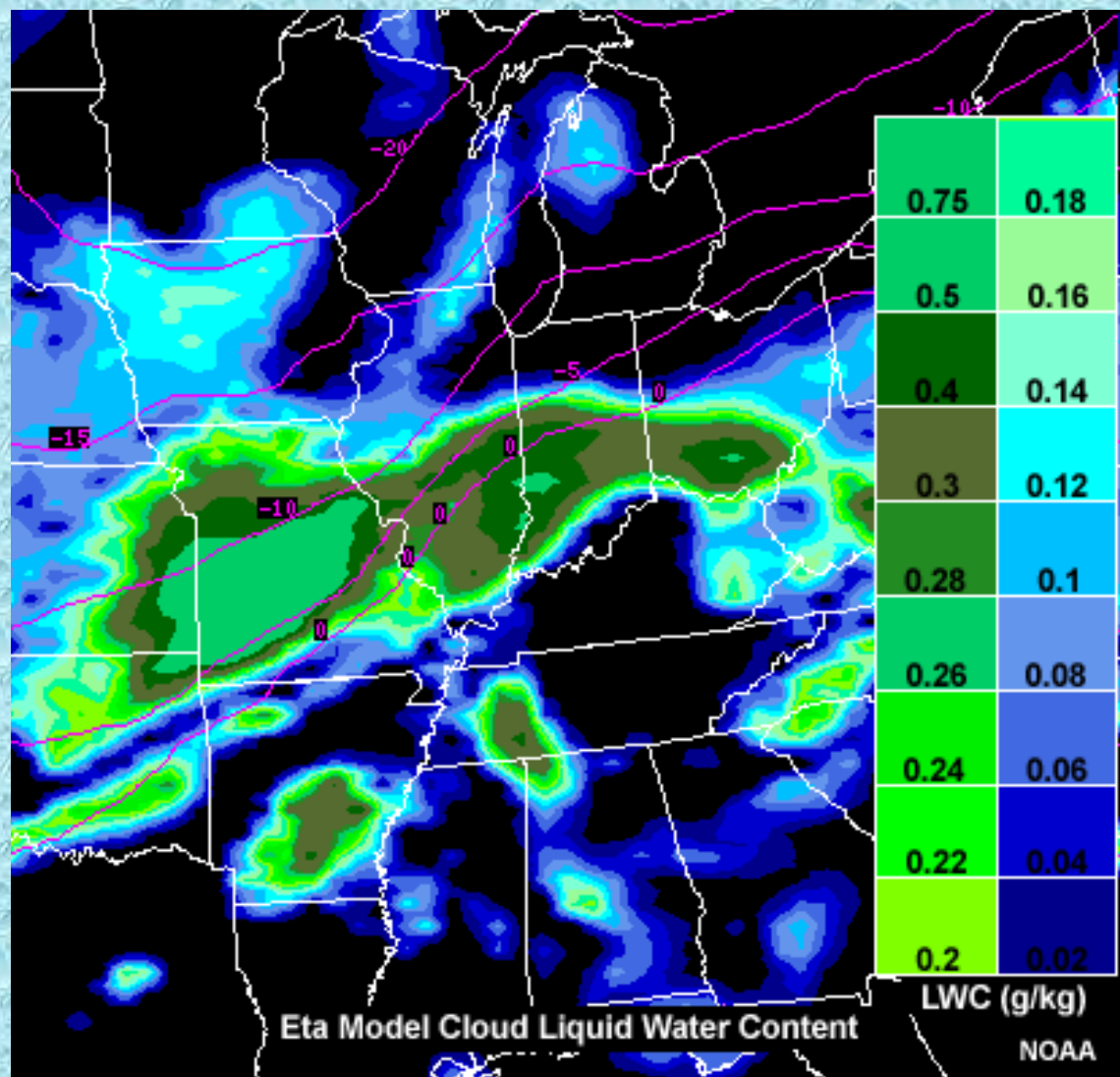
Contenuto in acqua liquida - LWC



La quantità di acqua liquida in una nube o contenuto in acqua liquida LWC, è espressa sia in grammi d'acqua per metro cubo (g/m^3) che in grammi per kilogrammo (g/kg) d'aria. Se la temperatura è negativa, il contenuto in acqua liquida ci dà la misura di quanta acqua soprafusa (SLW) è presente nella nube e potenzialmente capace di trasformarsi in ghiaccio.

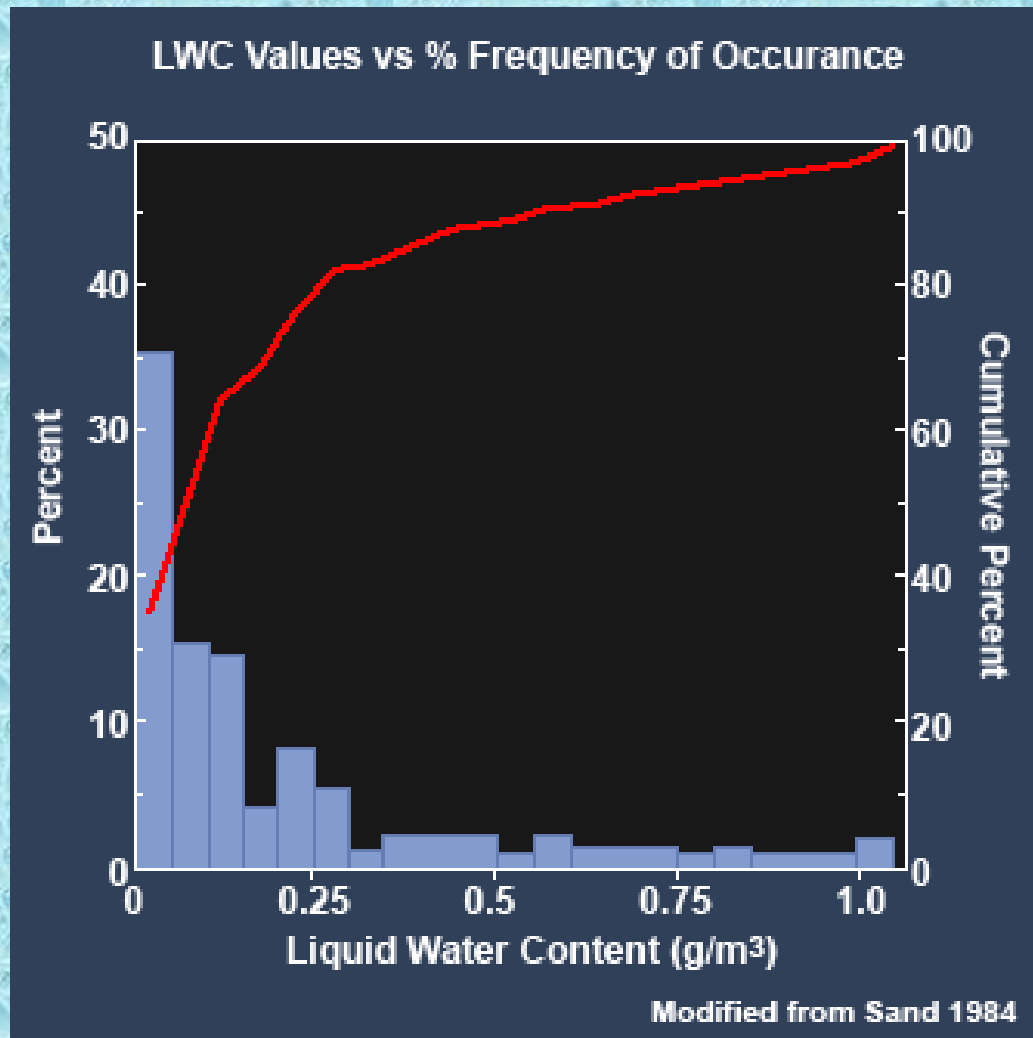
Questa quantità non è misurata e solo pochi modelli meteorologici ne prevedono l'utilizzo.

Contenuto in acqua liquida - LWC



Esempio di mappa LWC

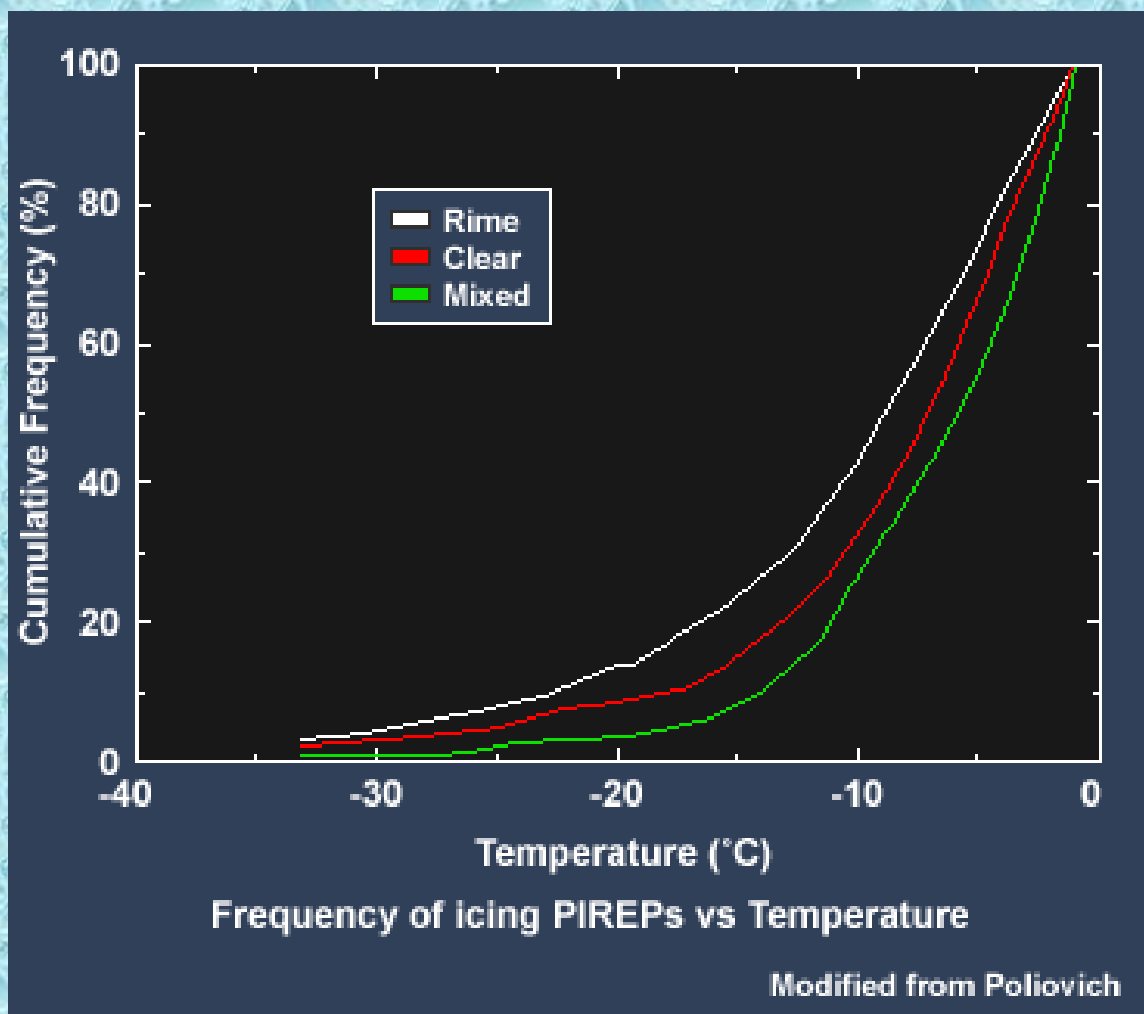
Contenuto in acqua liquida - LWC



La figura mostra la distribuzione di frequenza di contenuto in acqua liquida rilevata in condizioni di formazione di ghiaccio. La maggior parte dei casi osservati mostra dei bassi valori di LWC (meno di 0,1 g/m³) e solo nel 17% dei casi si ha un LWC maggiore di 0.3 g/m³.

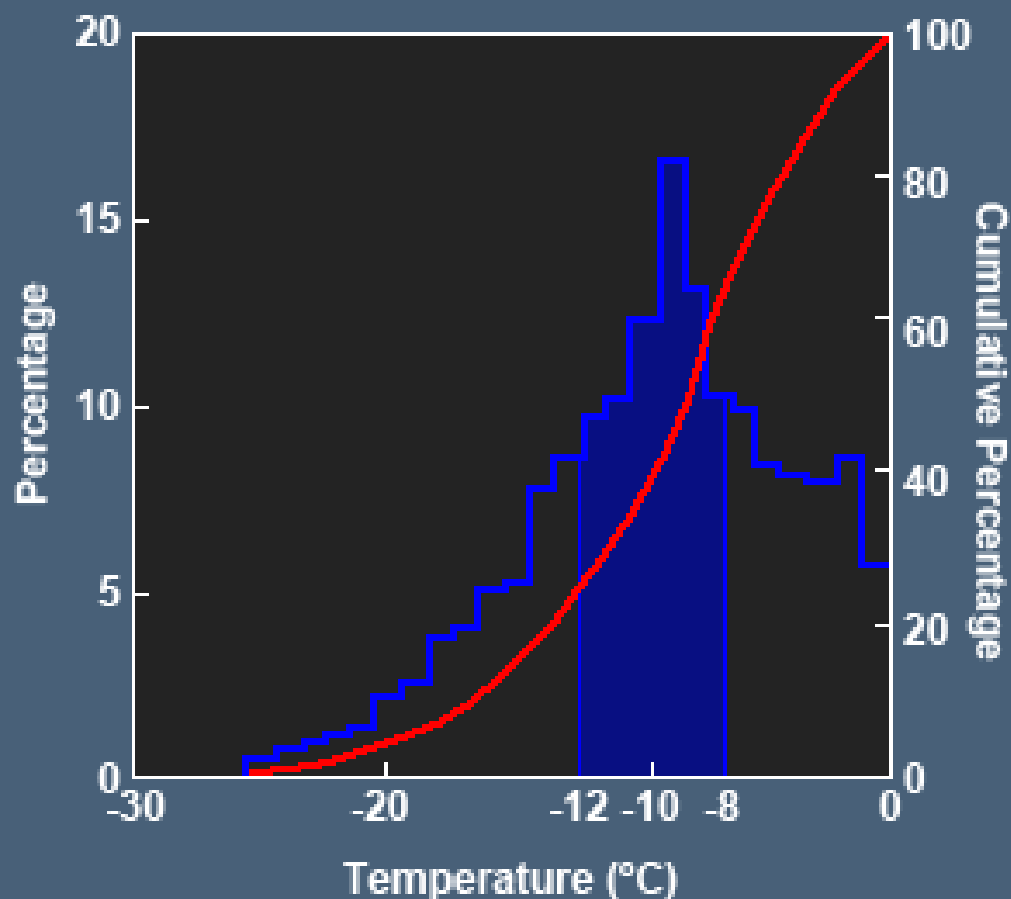
La figura suggerisce anche che gran parte degli eventi di formazione di ghiaccio, si verificano in presenza di bassi valori di LWC

Influenza della Temperatura



La temperatura può influenzare sia l'intensità che il tipo di ghiaccio. Il grafico mostra la frequenza di ghiaccio in funzione della temperatura. Come si vede le massime frequenze si hanno per temperature comprese tra 0 e -20°C. Il limite fisico per la formazione di ghiaccio è di -40° in quanto al di sotto di tale temperatura non c'è più acqua liquida disponibile.

Influenza della Temperatura

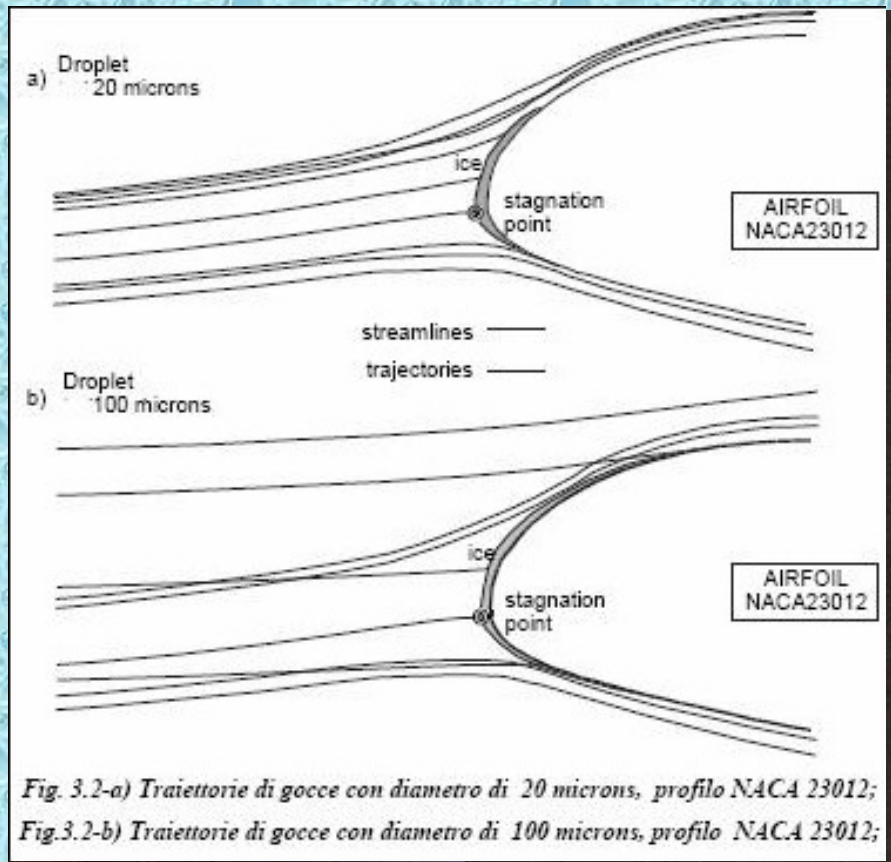


Modified from Sand et al.

I dati ottenuti dai voli condotti da Sand et al. (1984) hanno fatto riscontrare che solo il 4% dei riporti di ghiaccio si verificano a temperature inferiori a -20°C , mentre il 50% circa dei casi è stato riscontrato a temperature comprese tra -12° e -8°C . I dati si riferiscono ad aeroplani con quota di tangenza di circa 30,000 ft. Gran parte delle missioni sono state volate a quote di 20,000 ft o più basse.

Dimensione delle goccioline - Droplet size

Le goccioline all'interno di una nube, hanno normalmente un diametro inferiore a 40 micron. Gocce più grandi possono tuttavia persistere a temperature inferiori allo zero. Tra di esse troviamo la piovigine congelantesi (diametri da 40 a 200 microns) e la pioggia congelantesi (diametri maggiori di 200 microns). Queste ultime rappresentano un rischio maggiore per la formazione del ghiaccio.

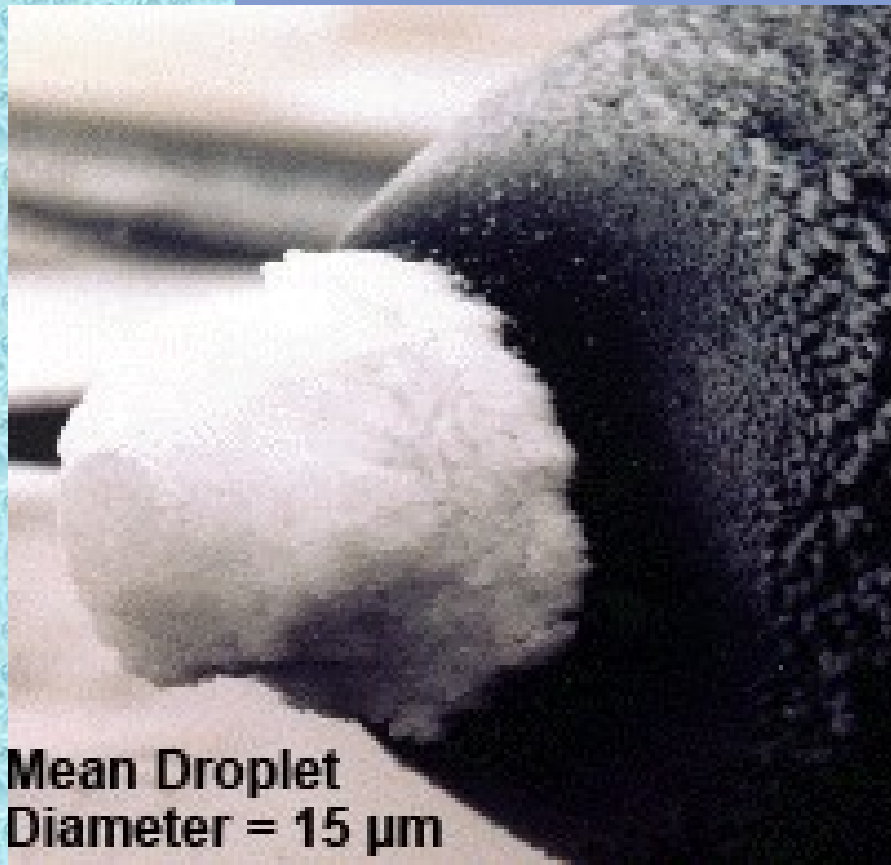


Le goccioline piccole tendono ad accumularsi sul bordo di attacco dell'ala

Le gocce più grandi scorrono “avvolgendo” una superficie maggiore

Dimensione delle goccioline - Droplet size

(LWC = 1.3 g/m³)

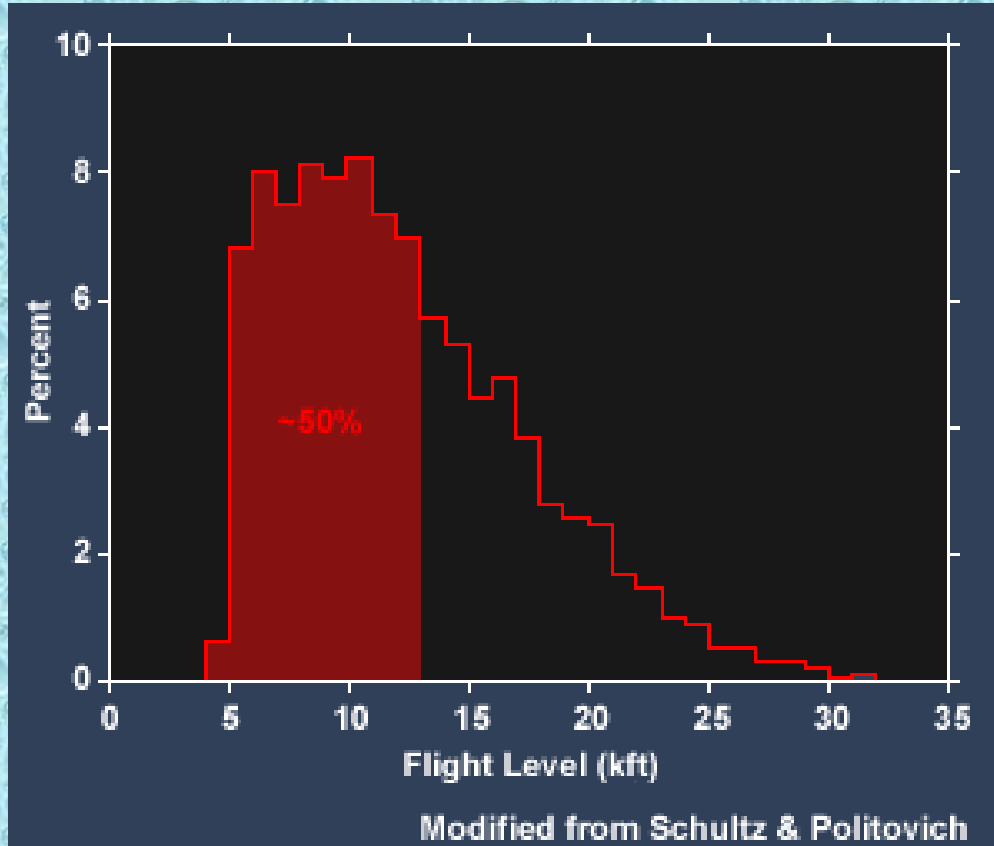


Mean Droplet
Diameter = 15 μm



Mean Droplet
Diameter = 25 μm Rasmussen et al.

altitudine



- Non esiste un limite di altitudine per la formazione del ghiaccio; le condizioni per la sua formazione si possono estendere dal suolo fino alla quota massima alla quale l'aereo può volare. Esiste tuttavia una casistica di incidenti che mostra come il 50% degli eventi di formazione di ghiaccio sia distribuito tra una quota di 5000 e di 13.000 piedi con il picco massimo attorno a 10.000 piedi.

Tipi di ghiaccio

E' di estrema importanza sia per i previsori che per i piloti, saper distinguere tra i differenti tipi di ghiaccio, in quanto ciascun tipo rappresenta un differente livello di rischio.

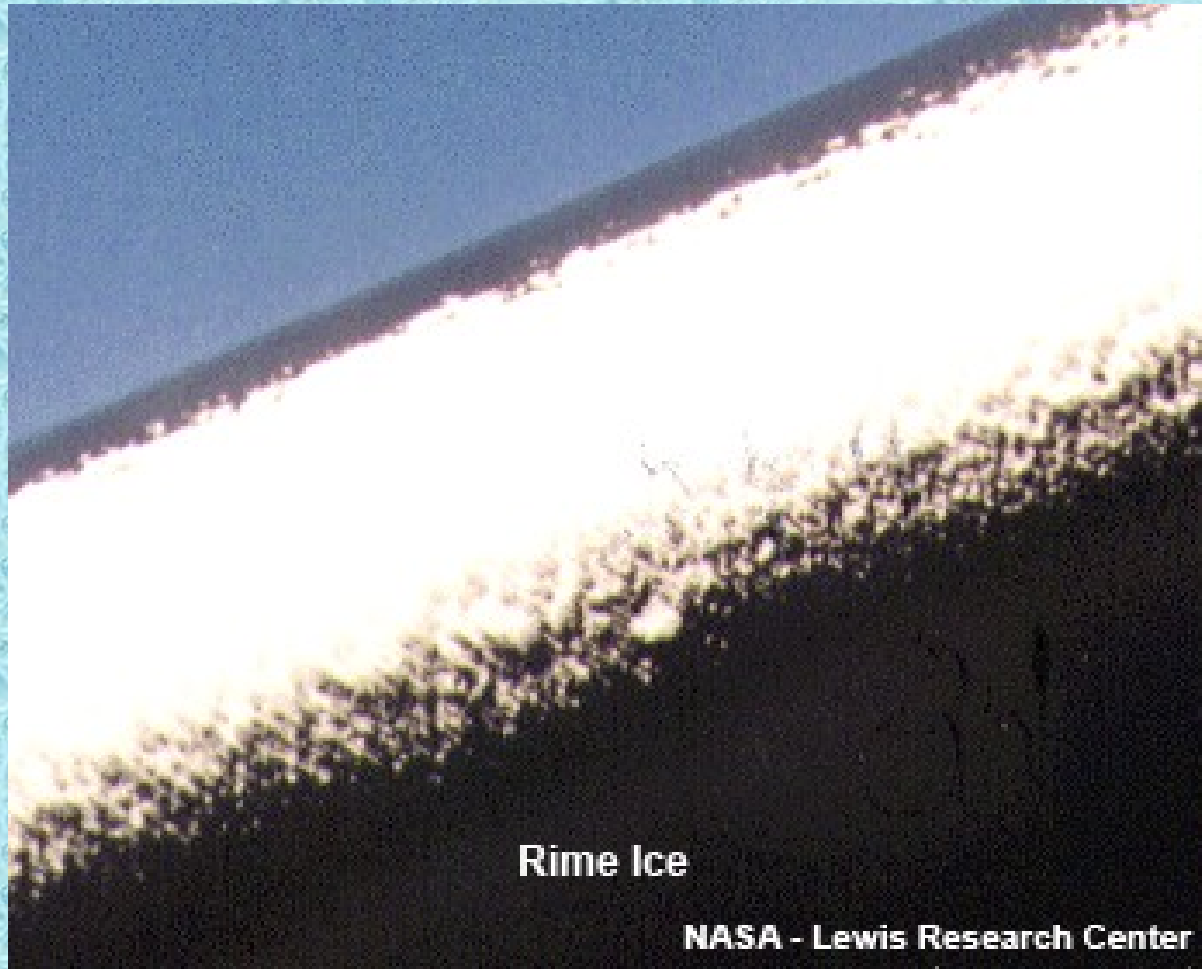
Le tre principali categorie di ghiaccio sono:

Ghiaccio brinoso (rime ice)

Ghiaccio vetroso o vetrone (clear ice)

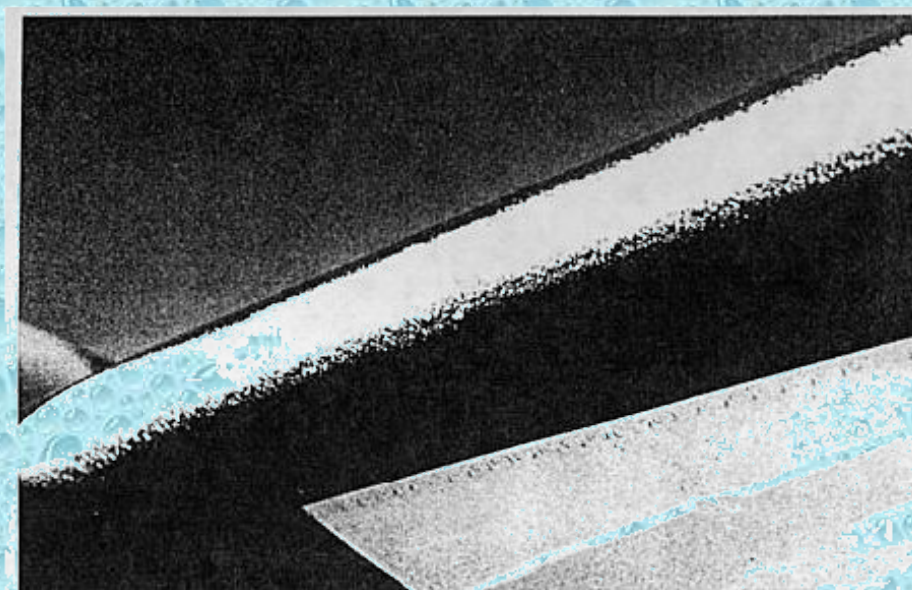
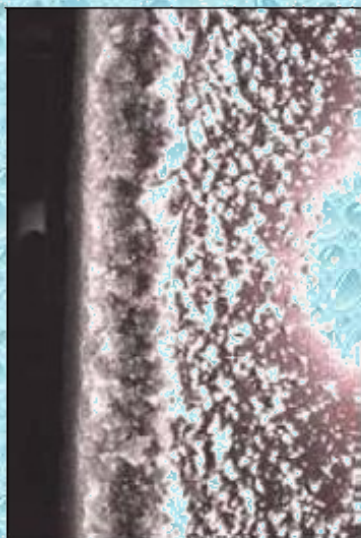
Ghiaccio misto (mixed ice)

Rime Ice



- Gocce soprafuse di piccole dimensioni
- Congelamento immediato
- Confinato zona impatto
- Accumulo veloce
- Forme arrotondate
- Basse temperature, bassi valori di LWC
- Basta cambiare quota anche di 1000 ft per finire
- Meno pericoloso!

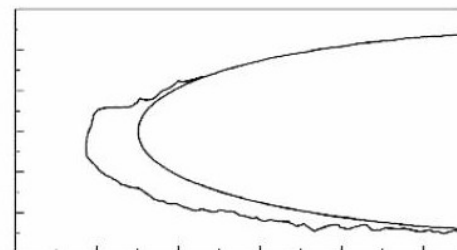
Rime ice



Forma di accrescimento del Ghiaccio Rime



1
0.01 C

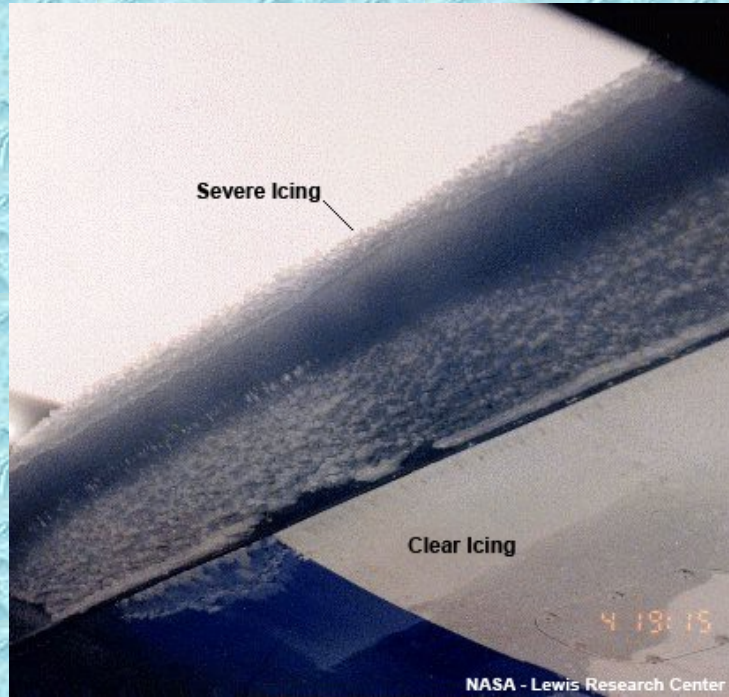


Clear Ice

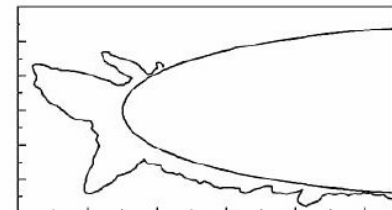
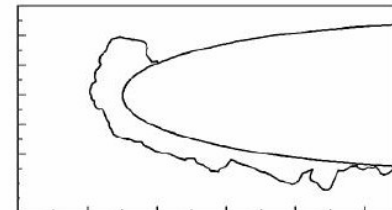
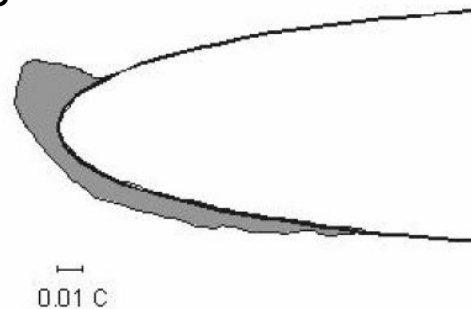


- Gocce che non congelano immediatamente
- Alti valori di LWC
- + pericoloso per rapidità di accumulo e tenacia
- Temperatura tra 0°C e -10°C
- Il cambio di quota non produce risultati apprezzabili

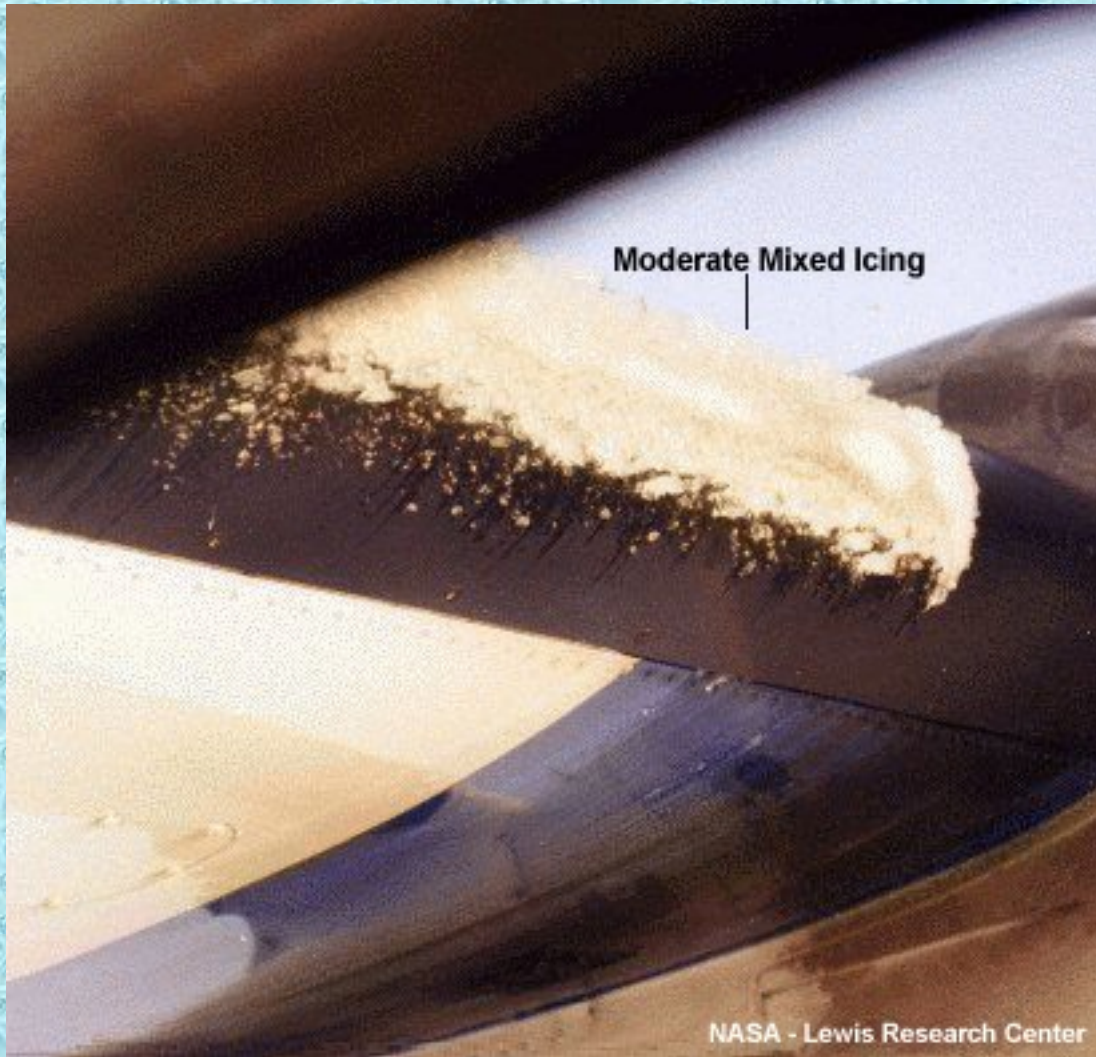
Clear Ice



Forma di accrescimento del ghiaccio vetrone



Mixed Ice



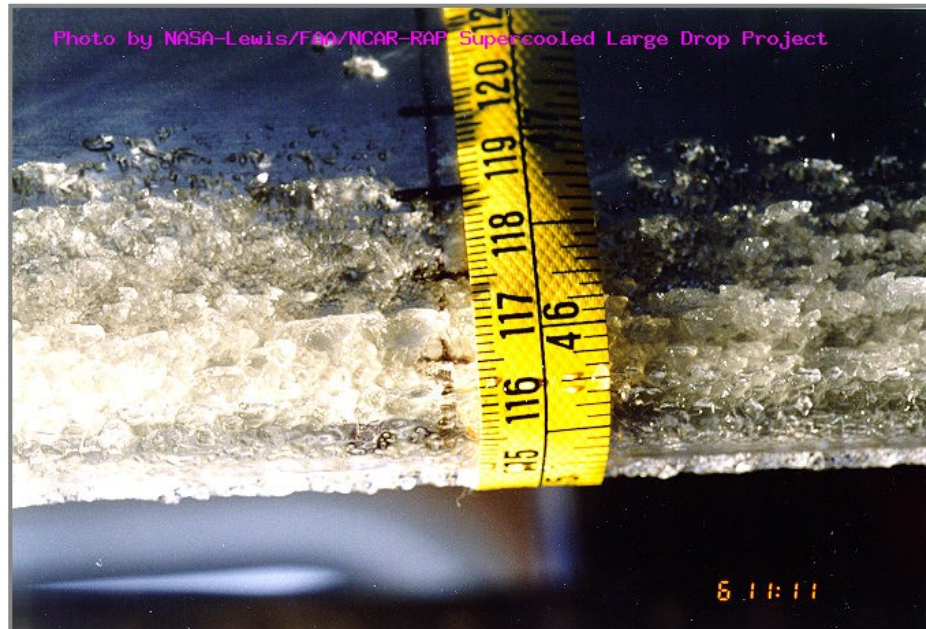
- E' un misto tra il ghiaccio brinoso e vetrone
- Aspetto spugnoso e granuloso
- + o – pericoloso a seconda se assomiglia di più al vetrone o al brinoso

Mixed Ice

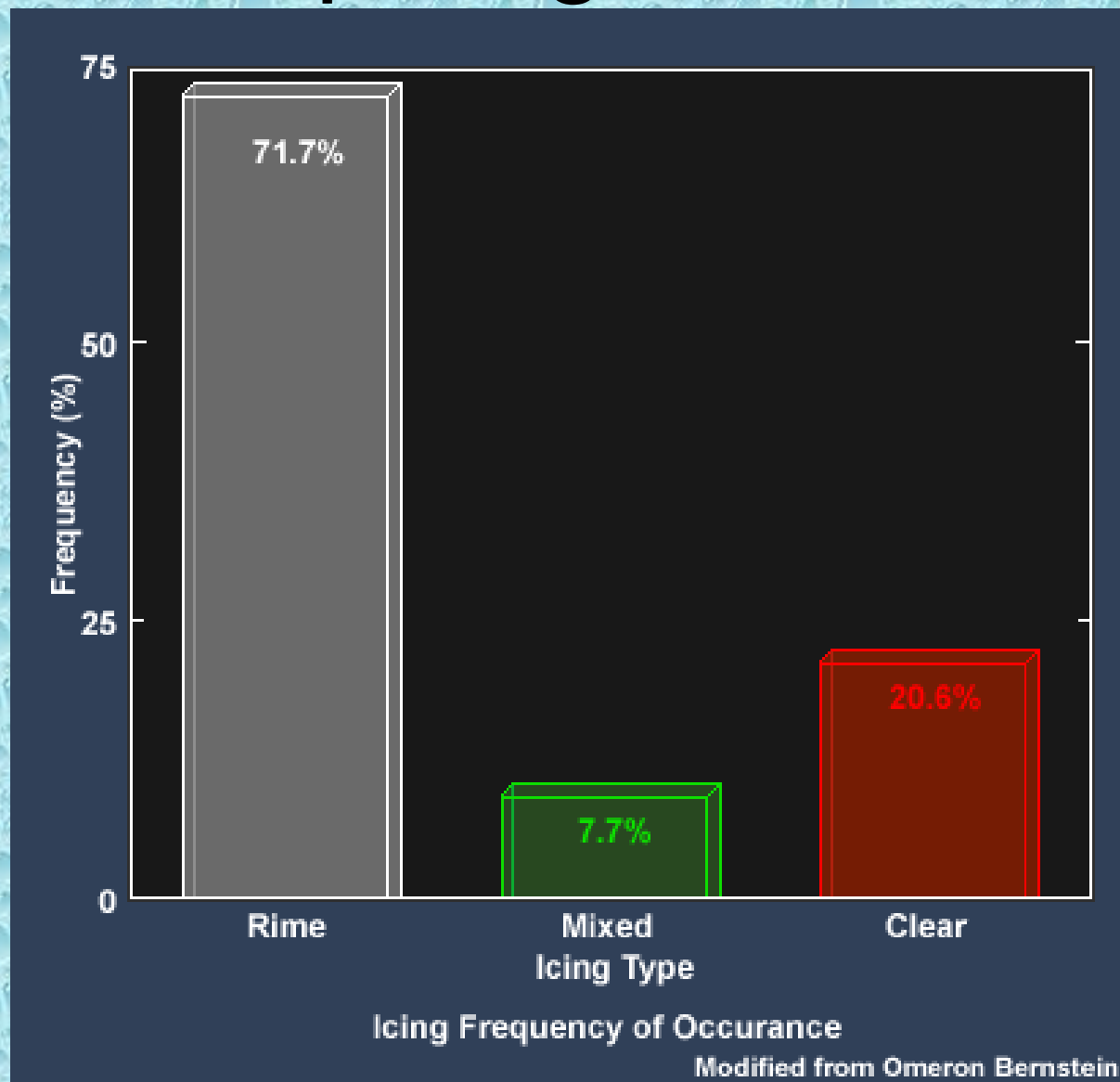
Photo by NASA-Lewis/FAA/NCAR-RAP Supercooled Large Drop Project



Photo by NASA-Lewis/FAA/NCAR-RAP Supercooled Large Drop Project



Tipi di ghiaccio



Effetti del ghiaccio sui velivoli

Il ghiaccio si può depositare :

1. Bordo d'attacco delle superfici portanti
2. Prese d'aria dei motori
3. Carburatore
4. Elica
5. Antenne e sonde strumentali
6. parabrezza

Ghiaccio sul bordo d'attacco delle superfici portanti (ali e piani di coda)



Normal forces — no ice



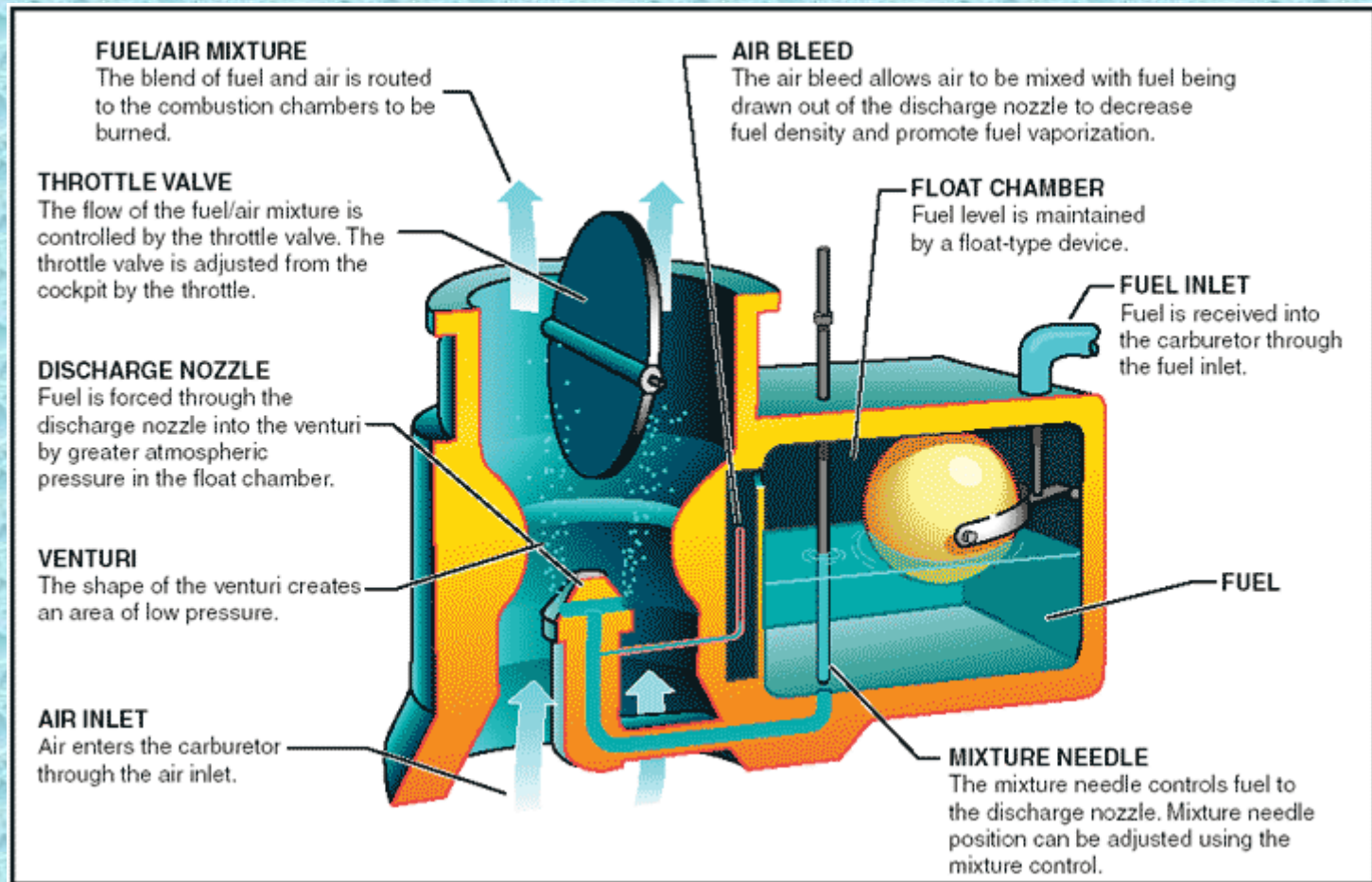
Tail stalls — loss of lift from horizontal tail

La formazione di ghiaccio sulla superficie di un velivolo altera il flusso aerodinamico: in particolare provoca una riduzione della portanza ed un aumento della resistenza, la cui azione congiunta può portare la velocità di stallo a valori talmente elevati da rendere impossibile non solo la salita, ma anche il semplice mantenimento del volo livellato

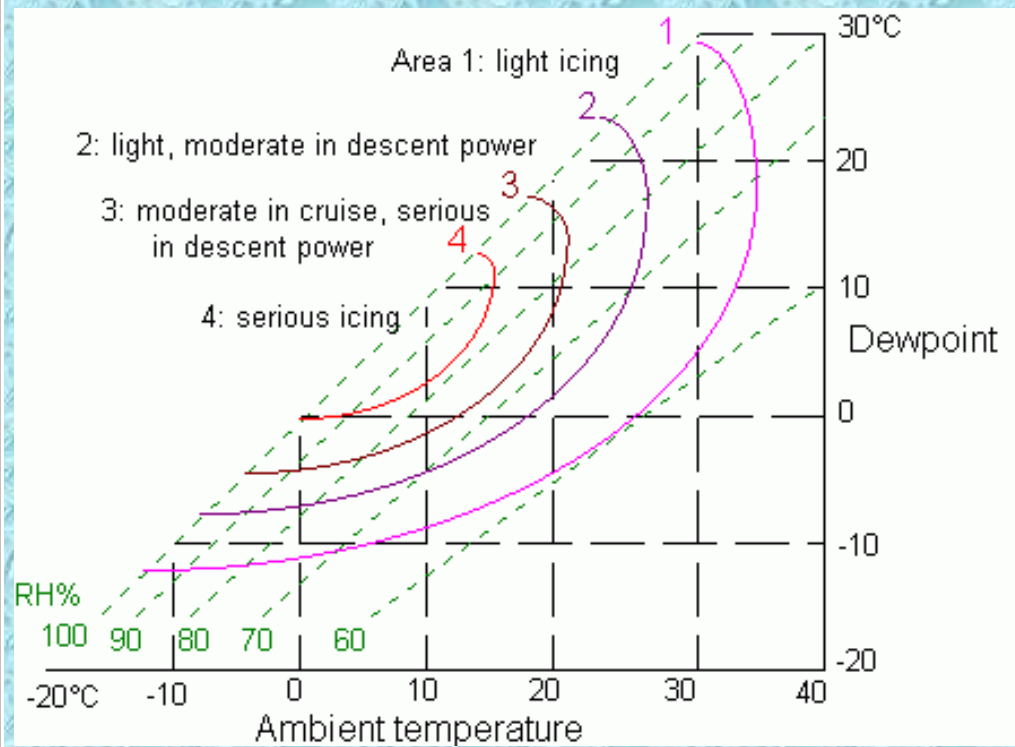
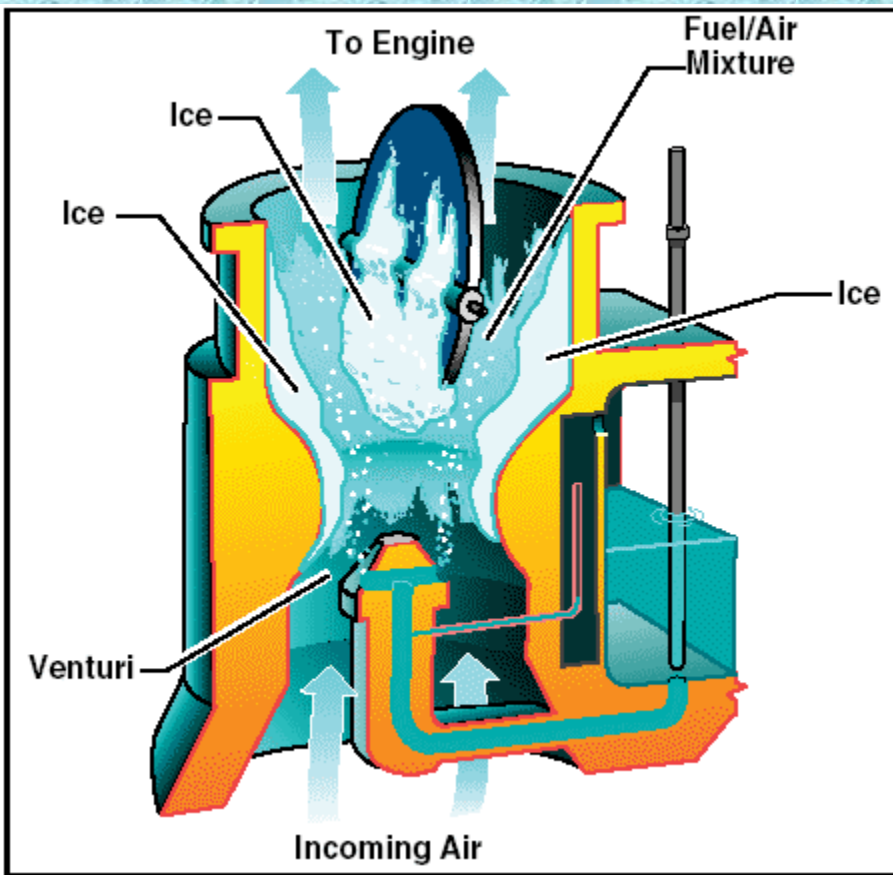
Prese d'aria dei motori

- Il pericolo maggiore è rappresentato dal ghiaccio che si accumula sul “labbro” della presa d'aria stessa. Tale formazione distorce il flusso aerodinamico riducendo le prestazioni del propulsore. Inoltre il ghiaccio può staccarsi ed essere aspirato dal motore.

Ghiaccio al carburatore



Ghiaccio al carburatore



Formazione di G. al carburatore sono state riscontrate durante discese con temp. maggiori di 25°C ed umidità rel. anche del solo 30% o durante la crociera con temp. intorno ai 20°C e umidità relative del 60%

Ghiaccio sulle antenne e sonde strumentali



Contaminazione del parabrezza



Case Study

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 dei motori	Pratt & Whitney Canada
Tipo di motore	JT8D
Potenza (per motore)	14000 - 17400 lb st
Tipo di propulsione	Jet
Numero di motori	3



Case Study

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

Case Study

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 del controllo dell'aeromobile.

6.1.1) 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.

DOMANDE ?

