

Progetto ricerca – Erika De Candido

Il problema di scambio termico in presenza di cambiamento di fase si incontra in numerose situazioni pratiche, per esempio nel caso di deumidificatori, condensatori, in problemi di appannamento e disappannamento. In tutti questi casi si osserva che il cambiamento di fase avviene in prossimità di una parete solida, che viene quindi ricoperta da uno strato di acqua molto sottile.

In questo tipo di problema è dunque necessario descrivere tre domini diversi, governati da diversi set di equazioni: il dominio fluido viene risolto dall'equazioni di Navier Stokes, dell'energia, e del trasporto di massa (qualora non si adotti la più rapida soluzione dell'uso dell'analogia di scambio termico e massa), il dominio solido dall'equazione della conduzione, e si rende necessario un modello per la descrizione del dominio della seconda fase.

Il mio progetto di ricerca si concentra appunto sulla formulazione di quest'ultimo. L'obiettivo finale è quello di individuare una modellizzazione sufficientemente accurata da rappresentare correttamente gli effetti globali del fenomeno, ma sufficientemente efficiente da poter essere inserita all'interno di codici di calcolo fluidodinamiche tridimensionali volti all'analisi di sistemi ingegneristici completi (scambiatori di calore, sistemi di protezione antighiaccio aeronautici). Non risulta quindi possibile, se non per individuare alcuni esempi di riferimento, un calcolo dettagliato della fluidodinamica all'interno della goccia o dei criteri locali di stabilità del film in funzione della frequenza del disturbo. Si dovrà realizzare pertanto un modello che si appoggia su osservazioni fenomenologiche, ma che trae vantaggio dalla ricchezza di dettagli sul flusso locale messi a disposizione dalla soluzione CFD del campo di moto.

Il primo problema considerato è stato il caso di una batteria alettata su cui condensa il vapor d'acqua presente in atmosfera (ad esempio un deumidificatore); il condensato può presentarsi sotto forma di piccole gocce, rivoli o film continuo. Nell'ipotesi, spesso formulata per semplicità, di "drenaggio perfetto" del condensato, questo entra semplicemente come un termine sorgente nell'equazione dell'energia per il fluido.

Sfortunatamente, il processo reale è assai più complesso. Osservazioni sperimentali mostrano che il processo inizia con la formazione di minuscole goccioline sulla superficie condensante: con il passare del tempo la quantità di acqua presente sulla superficie aumenta, le goccioline iniziano a coalescere e a diventare più grandi.

Oltre una certa dimensione della goccia la tensione superficiale che mantiene le gocce non è più sufficiente a contrastare le forze di gravità e lo sforzo di taglio esercitato dalla corrente fluida, e le gocce incominceranno a muoversi, formando rivoli o film a seconda della quantità d'acqua presente sulla superficie. Lo stato del condensato sulla superficie solida ha un'influenza non trascurabile sui processi di scambio termico, in quanto nel caso di gocce o rivoli la parte asciutta della superficie sarà esposta a semplice convezione, mentre la superficie curva della gocce o dei rivoli sarà interessata a processi di condensazione/evaporazione, nel caso di film continuo al contrario la superficie bagnata sarà equivalente alla superficie solida. L'ingombro del condensato e la resistenza e capacità termica dello strato condensato possono pure avere effetti importanti.

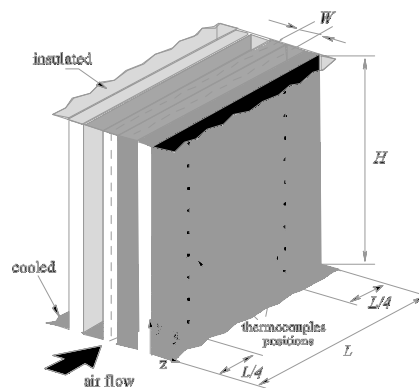


Figure 1 Geometria del problema

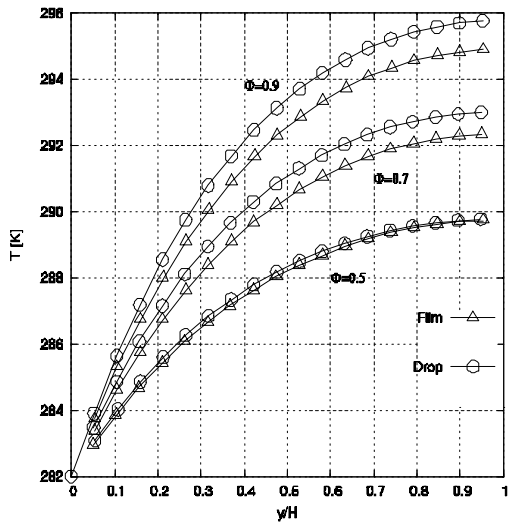


Figure 2 Profili di temperatura in una sezione dell'aletta, confronto tra il modello a gocce e a film

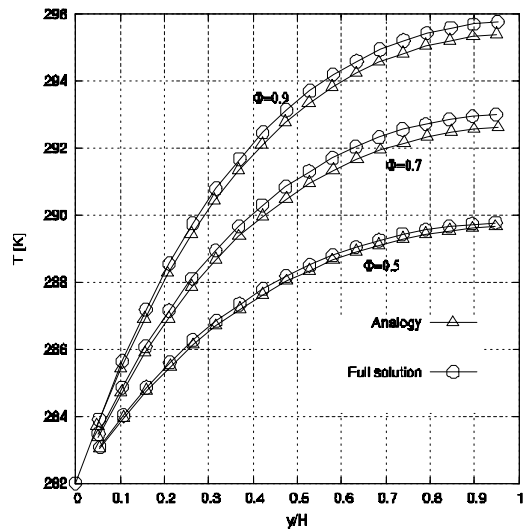


Figure 3 Profili di temperatura in una sezione dell'aletta, confronto tra l'uso dell'analogia di scambio termico e di massa e dell'equazione di trasporto dell'umidità

Come primo esempio si è simulato il flusso in una batteria alettata come in figura: le alette di alluminio sono spaziate tra di loro di 3mm, la loro superficie è $L \times H = 100 \times 100 \text{ mm}$. L'aria umida (umidità 50, 70 e 100%) attraversa la batteria con velocità compresa tra 0.3 e 1.5m/s. I risultati sperimentali su questo caso derivano da Lin et al. [1] ed i confronti con il nostro modello, pubblicati in [2], sono riportati in figura 2. Si nota come, soprattutto per valori di umidità dell'aria in ingresso elevati, i vari modelli testati forniscono effettivamente risultati apprezzabilmente diversi.

I modelli sviluppati per il deumidificatore sono poi stati introdotti nel codice ICE3D, destinato alla simulazione della formazione di ghiaccio in volo sulle superfici alari, nacelle e superfici di controllo di velivoli. Il lavoro è stato svolto presso CFDLab dell'Università McGill a Montreal, sotto la supervisione locale del Prof. W.Habashi. In questa applicazione la simulazione di dettaglio dello stato delle goccioline o film d'acqua è ancora più importante perché non influisce solo sullo scambio termico (e quindi sulla funzionalità dei sistemi di sicurezza termici), ma anche sulla rugosità superficiale nel caso di congelamento e quindi sulla forma ed effetto della formazione di ghiaccio, che ha un impatto decisivo sulla sicurezza del volo.

ICE3D risolve le equazioni dell'energia di continuità per le gocce di acqua sottoraffreddata che impattano sulla superficie dell'aereo, calcolando dunque la quantità di ghiaccio che si forma e la quantità di acqua che rimane allo stato liquido. Si è quindi introdotto un modello in grado di descrivere l'evoluzione

e la dinamica delle gocce di acqua e di derivarne il valore di rugosità della superficie ghiacciata. Oltre a ciò si è verificato che la presenza di rivoli o di gocce in movimento piuttosto che di un film continuo di acqua aumenta in modo significativo la superficie esposta ad evaporazione, incrementando di conseguenza il flusso termico evaporativo: la quantità di ghiaccio che si forma è dunque maggiore.

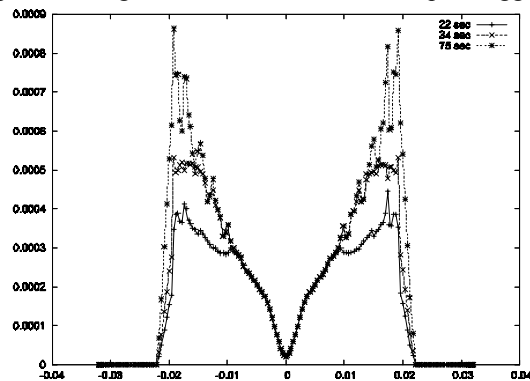


Figure 4 Evoluzione temporale della rugosità sulla superficie dei ghiacci

[1] Lin Y.T., Hsu K.C., Chang, Wang C.C., "Performance of Rectangular Fin in Wet Conditions: Visualization and Wet Fin Efficiency" (*ASME J. of Heat Transfer*, Vol. 123, pp. 827-836).

[2] G. Croce, E. De Candido, P. D'Agaro, "Numerical modeling of Heat and Mass transfer in finned dehumidifier" UK Heat Transfer Conference 2007, Edimburgo 2007