

Radiatori

Bibliografia

D.G. Gilmore

Spacecraft Thermal Control Handbook, Vol.1

The Aerospace Press, AIAA, 2002

P. Fortescue, J. Stark, G. Swinerd

Spacecraft systems engineering, Wiley, 2003R.

D. Karam

Satellite thermal control for systems engineers

AIAA, 1988

Riepilogo sulle caratteristiche dei radiatori

Il flusso termico dissipato nel veicolo spaziale + i flussi termici per radiazione ambientali e da altre superfici del veicolo vengono ceduti allo spazio dai radiatori

I radiatori possono essere pannelli strutturali montati sul lato del velivolo spaziale o pannelli che vengono schierati quando il velivolo è in orbita

Tutti i radiatori dissipano calore come radiazione IR

Il flusso termico dissipato dipende dalla emissività della superficie e dalla sua temperatura

Le superfici dei radiatori hanno di solito alta emissività IR (>0.8) per massimizzare il flusso termico ceduto allo spazio e basso coefficiente di assorbimento solare (<0.2) per limitare i flussi termici solari: quartz mirrors, silvered o aluminized Teflon, pittura bianca

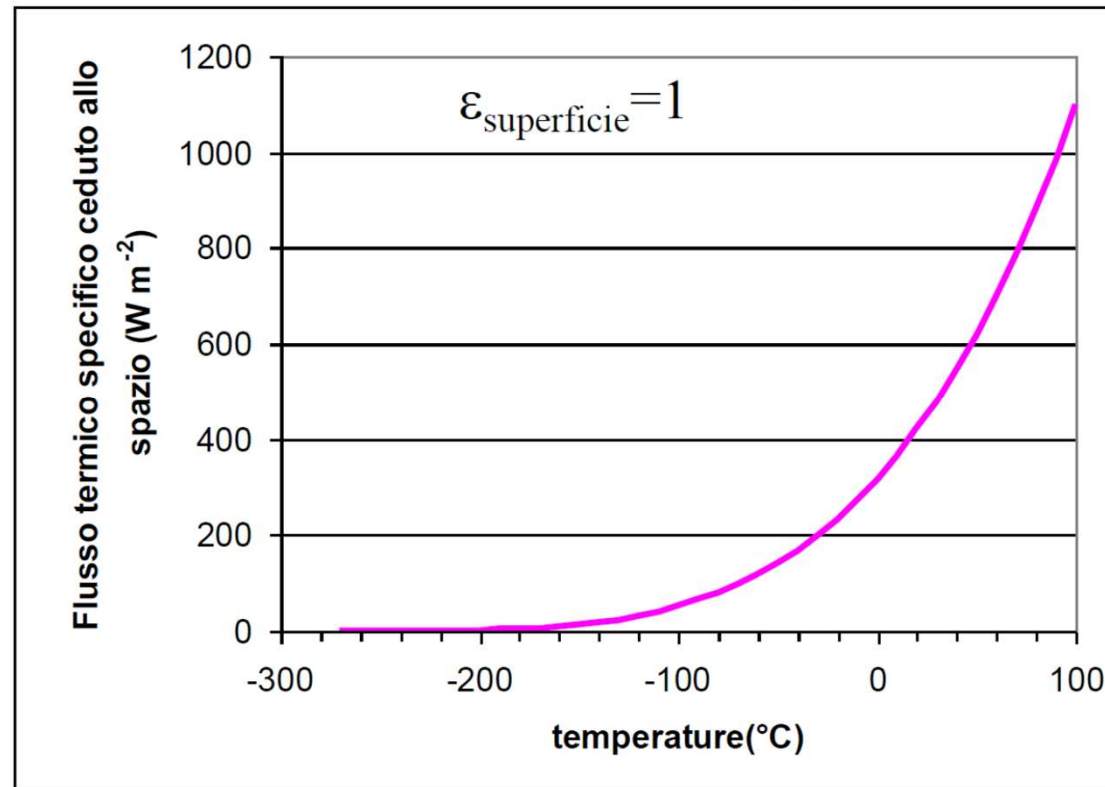
Per il radiatore va elaborata l'equazione di bilancio termico con tutti i flussi di tipo radiante (IR e visibile)

Radiatori: flusso termico ceduto per radiazione

Il flusso termico ceduto allo spazio per radiazione dipende dalla temperatura assoluta elevata a 4, dall'area di scambio A , dall'emissività ε :

$$q = A \varepsilon \sigma_n T^4$$

Il flusso irradiato a 50°C è doppio di quello irradiato a 0°C , mentre quello irradiato a -200°C è $1/300$ di quello irradiato a temperatura ambiente



Aspetti generali sui radiatori

Quindi i radiatori a temperature criogeniche sono molto sensibili ai flussi termici ambientali, e ai flussi termici che arrivano attraverso gli isolanti e i supporti

Gran parte dei radiatori cedono allo spazio un flusso termico generato internamente dall'elettronica compreso tra 100 e 350 W m⁻²

La massa del radiatore è compresa tra 0 (pannello strutturale) e 12 kg m⁻² per un pannello che viene schierato con tutta la sua struttura di supporto.

Un pannello a nido d'ape esistente, parete del velivolo, è sia parte della struttura del velivolo sia radiatore

Il calore assorbito internamente dalle scatole dell'elettronica passa per conduzione attraverso la struttura di alluminio del nido d'ape. La conduzione laterale si ha solo nelle due pareti metalliche di confine. La superficie esterna irradia verso lo spazio.

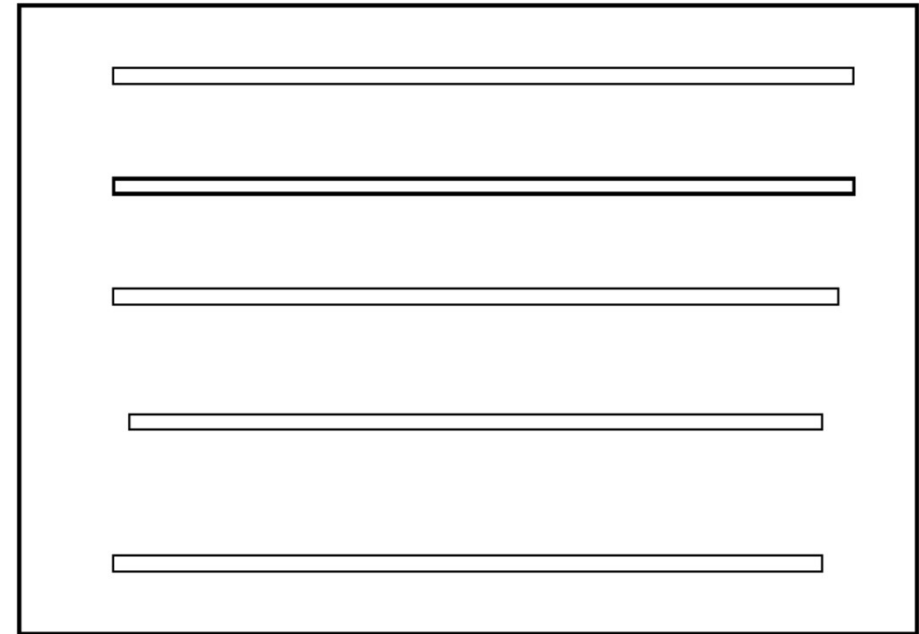
A volte le due pareti metalliche di confine vengono realizzate di spessore maggiore per favorire la conduzione laterale dei flussi termici elevati delle scatole dell'elettronica (to spread the heat out from the boxes) ed aumentare” l'efficienza dell'aletta”

Radiatori: pannelli strutturali con tubi di calore

Se le scatole dell'elettronica dissipano elevati flussi termici si aumenta lo spessore delle due pareti metalliche per diffondere il calore lateralmente, con conseguente aumento di massa.

Se il flusso termico è elevato l'aumento di spessore può non essere sufficiente per "diffondere" il flusso termico su aree di scambio elevate, che irradiano allo spazio. Come conseguenza la temperatura delle scatole potrebbe aumentare fino a superare la loro temperatura massima di progetto.

Per evitare l'aumento di peso si usano i tubi di calore "to spread the heat".



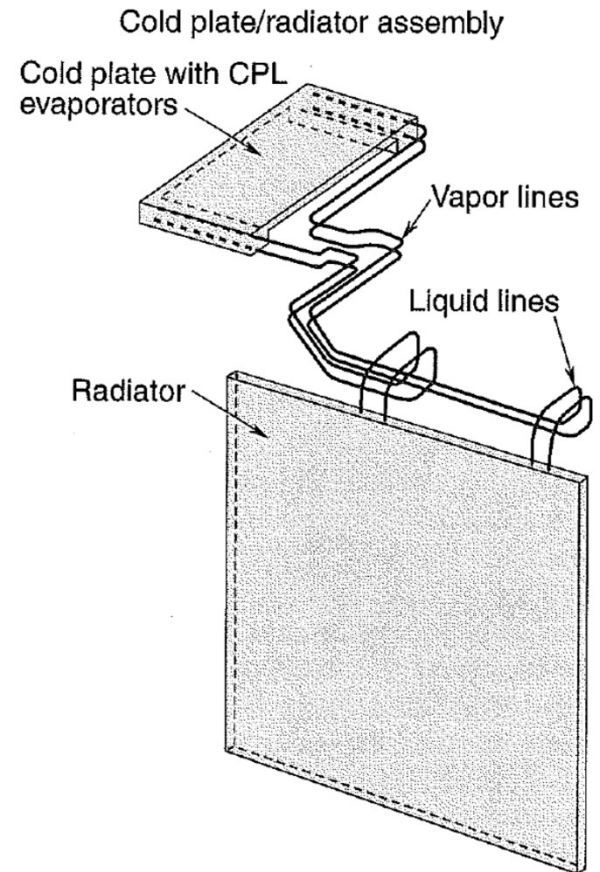
Radiatori montati sul veicolo

Se il radiatore deve essere mantenuto a temperatura diversa da quella del veicolo o i pannelli strutturali del veicolo non possono essere usati come radiatori, si usano pannelli a nido d'ape o piatti di alluminio rinforzato montati sul veicolo.

Il calore viene trasportato dal payload al radiatore mediante tubi di calore a conduttività fissa o variabile e capillary pumped loops (CPL).

Inoltre altri tubi di calore diffondono il calore nel pannello radiatore.

Sostegni a bassa conduttività termica e isolamento multilayer isolano il pannello dal veicolo.



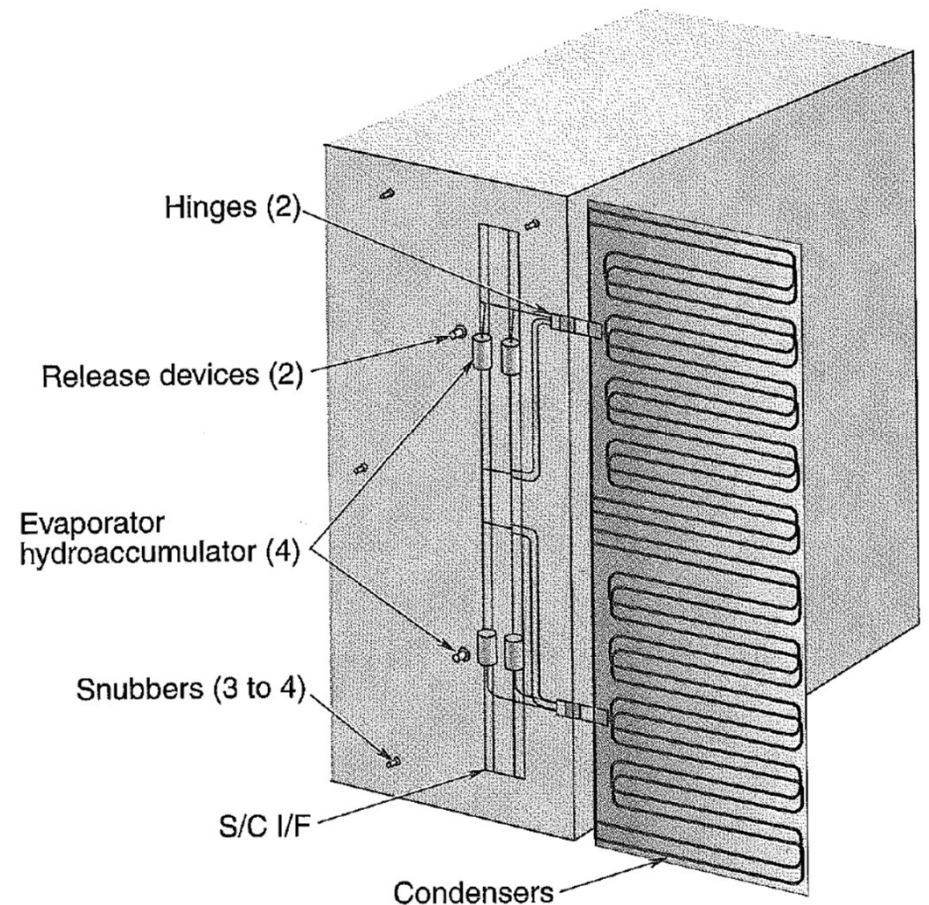
Radiatori che si schierano o si dispiegano (deployable radiators)

Se i satelliti sono di piccola dimensione, le aree di scambio per dissipare il calore sono ridotte.

Si devono quindi utilizzare radiatori che si aprono per aumentare l'area di scambio

International Space Station: il radiatore che si apre più grande usa un loop con pompa meccanica che utilizza ammoniaca liquida per trasportare 16 kW.

Space shuttle: deployable radiator con un mechanically pumped freon heat-transport loop.



Radiatori che si schierano o si dispiegano (deployable radiators)

Tutti i radiatori che utilizzano circuiti a liquido con pompa meccanica sono utilizzati per velivoli con astronauti (missioni brevi: Space shuttle) o sono ridondanti (Space Station)

Per missioni senza l'uomo, missioni lunghe, l'utilizzo di pompe meccaniche, che si possono rompere, preoccupa.

La situazione è cambiata con l'utilizzo dei circuiti a liquido con pompa meccanica nei programmi JPL Mars Pathfinder e Mars Exploration Rover

Poiché i flussi termici continuano a crescere nelle missioni senza l'uomo, i circuiti a liquido con pompa meccanica ad un certo punto dimostrano un vantaggio di peso rispetto ai sistemi passivi (heat pipe). Quindi se le pompe meccaniche possono dimostrare affidabilità, i radiatori con circuito a pompa meccanica potranno diventare comuni nelle missioni senza l'uomo.

Congelamento

Il fluido che circola nei tubi di calore o nei circuiti con pompa meccanica può congelare e successivamente scongelare.

Diversamente dall'acqua gran parte dei fluidi aumentano di volume durante lo scongelamento

Se in una linea congelata, in un punto tra due zone congelate, il fluido fonde-scongela, si ha un aumento di pressione che può rompere la linea

I radiatori deployable con grande area e piccola massa sono soggetti al congelamento più facilmente.

L'ammoniaca congela a -77°C (punto triplo). Nei radiatori ISS che vanno a -94°C , si sono calcolate pressioni interne pari a $2,96 \cdot 10^8 \text{ Pa}$, non sostenibili dai tubi in acciaio inossidabile dei radiatori

Congelamento

NASA ha studiato molte soluzioni. La più economica è risultata :

- Lasciar congelare senza danni
- Utilizzare inconel (Ni 55 Cr 20 Fe Nb 5 Mo 3) (yield stress $1,20 \times 10^9$ Pa) invece di acciaio inossidabile 321 (yield stress $2,06 \times 10^8$ Pa)
- Spaziatura variabile dei tubi: i tubi con grande area che irradia vengono fatti congelare prima, mentre l'ammoniaca calda viene forzata nei tubi con minor area e più vicini. Questo schema previene il congelamento completo del radiatore, anche nelle condizioni più estreme.

