

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
Simulazione dei transitori termici per un
radiatore a bordo di un veicolo spaziale***

Tutor universitario: Prof. Brunello Pierfrancesco

Laureando: *Della Libera Alessandro*

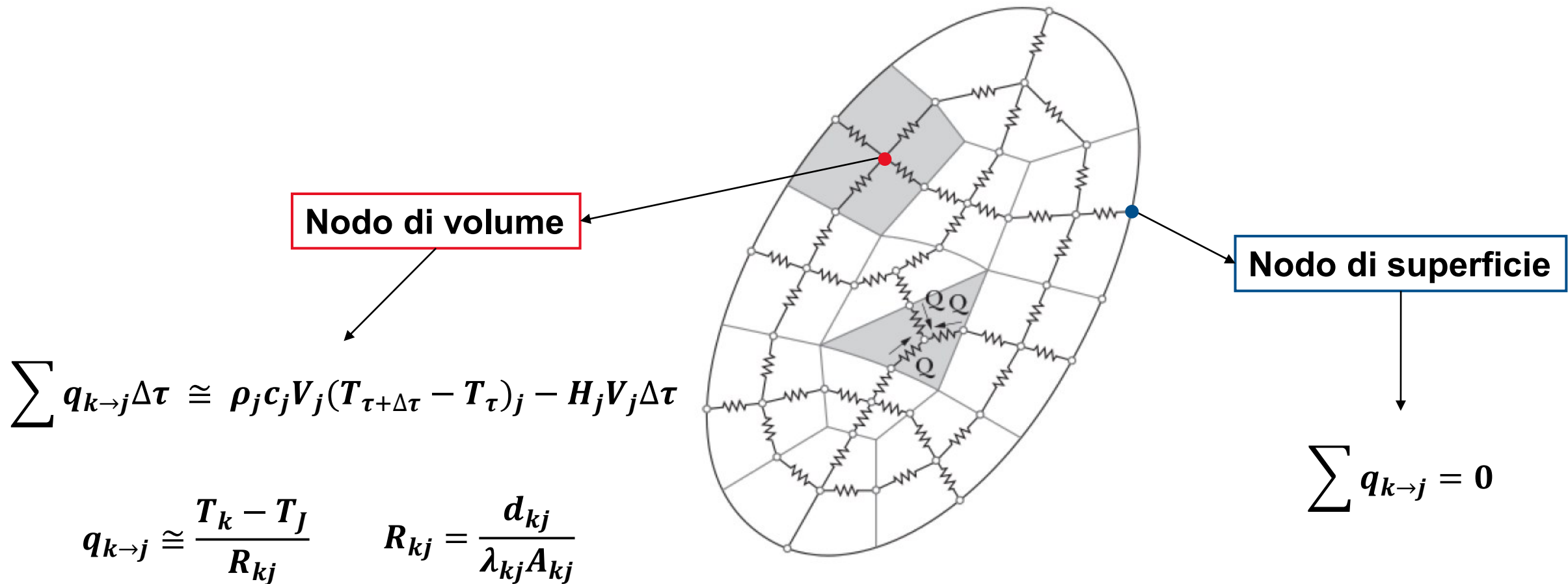
Padova, 22/09/2023

Obiettivo dell'elaborato è quello di discutere il dimensionamento di un sistema di controllo termico passivo di uno spacecraft, costituito da un thermal finger che congiunge il payload con il radiatore, il quale si affaccia sulla volta celeste.

Il metodo numerico utilizzato è il cosiddetto metodo dei volumi di controllo (*control volume method*), la cui implementazione si affronterà nel seguito.

In conclusione, si analizzeranno i risultati ottenuti e si valuterà una soluzione di compromesso tra massa del sottosistema ed efficienza dello stesso.

Il comportamento dei nodi di volume e di superficie è descritto da due distinti bilanci termici.



**Nel caso in questione, si sono costruiti 30 nodi di volume e 26 di superficie.
Il thermal finger è un solido cilindrico di diametro pari a 158,1 mm e lunghezza totale di 300 mm ed è stato suddiviso in 6 moduli uguali. Il primo di questi si interfaccia direttamente con il payload, mentre l'ultimo è collegato al radiatore.**

Il radiatore è costituito da una lastra piana quadrata, di lato 790,5 mm e spessore 1 mm, suddivisa in 5x5 nodi di volume.

Il materiale è omogeneo per l'intero sistema e si sono utilizzati i seguenti dati:

$$\text{Calore specifico } c = 800 \frac{J}{kg K}$$

$$\text{Densità } \rho = 2700 \frac{kg}{m^3}$$

$$\text{Conducibilità termica } \lambda = 300 \frac{W}{mK}$$

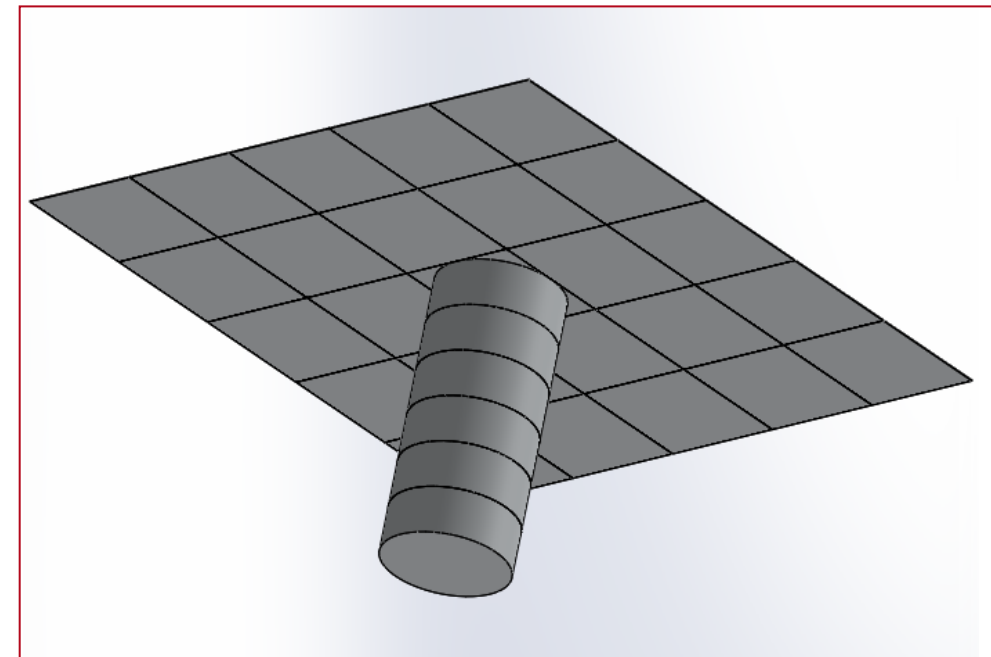
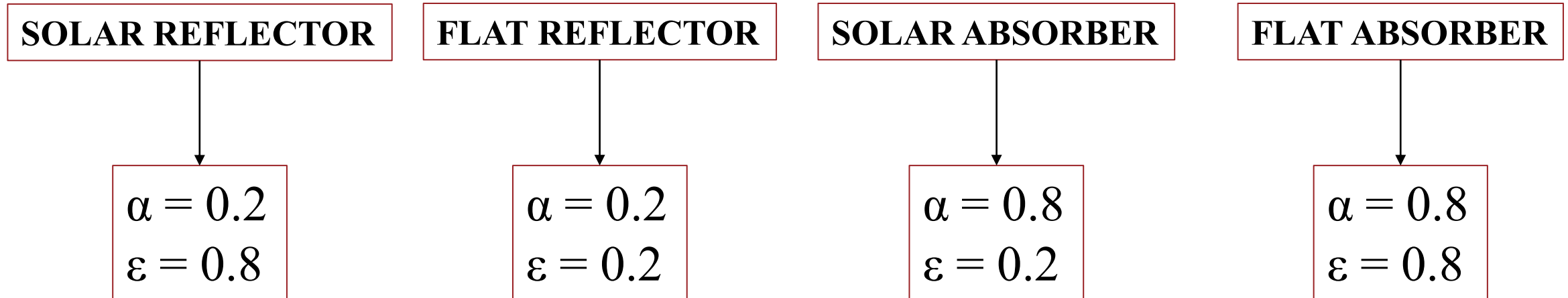


Figura 1: sistema thermal finger + radiatore con relativa mesh evidenziata

Complessivamente, si sono analizzati quattro scenari possibili:



La costante solare si è assunta pari a $1350 \frac{W}{m^2}$

La temperatura della volta celeste è pari a $8 K$.

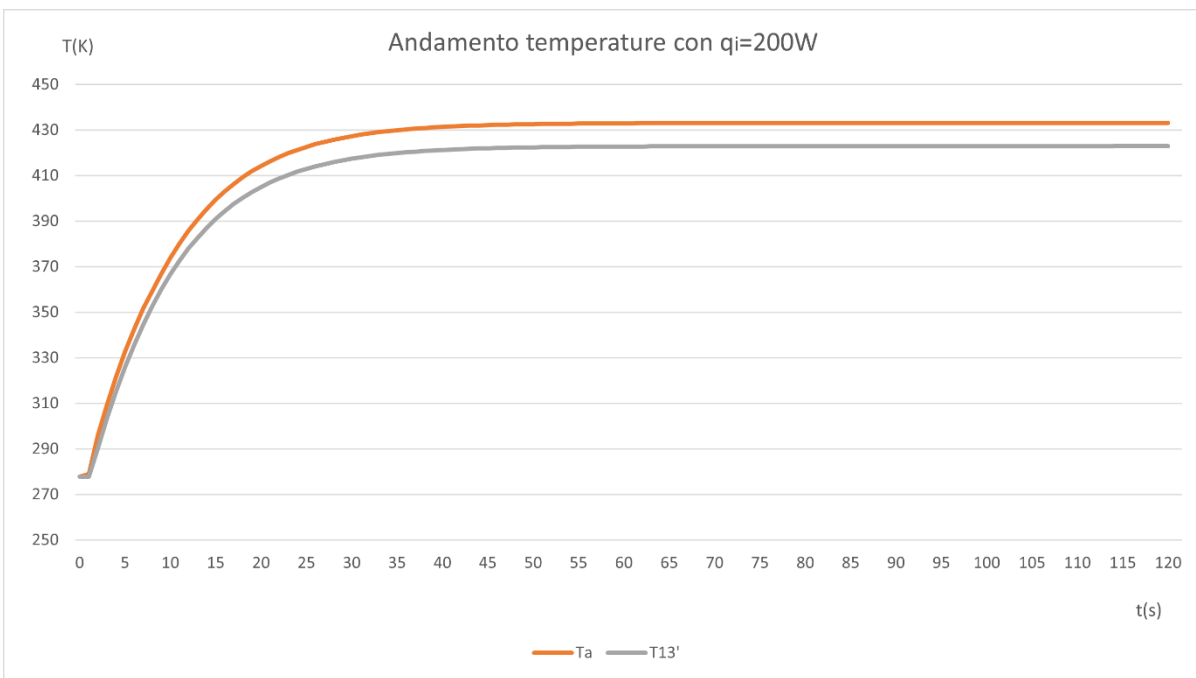


Figura 2

La massima temperatura sul radiatore è quella del nodo centrale (13) e vale 422.918 K. In corrispondenza del payload, la temperatura è di soli 10K superiore (fig. 2).

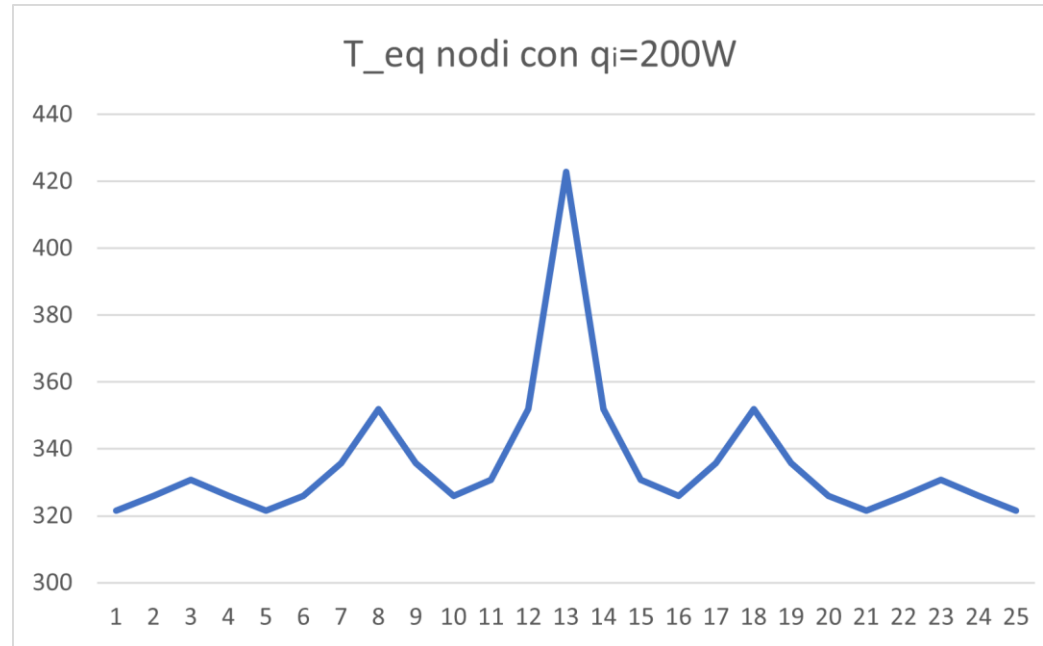


Figura 3

Figure 3-4: si evidenzia una distribuzione simmetrica di temperatura, che nei nodi di estremità arriva a sfiorare i 320K.

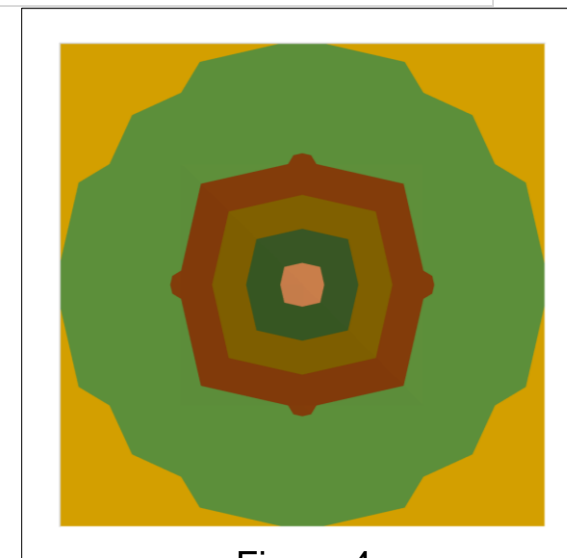


Figura 4

Il comportamento del radiatore è analogo per tutti e quattro i casi (fig. 5): lo scenario peggiore si avrebbe nel caso di *solar absorber* con un picco di temperatura pari a 676,718 K in corrispondenza del nodo centrale. Lo scenario migliore invece è quello di solar reflector.

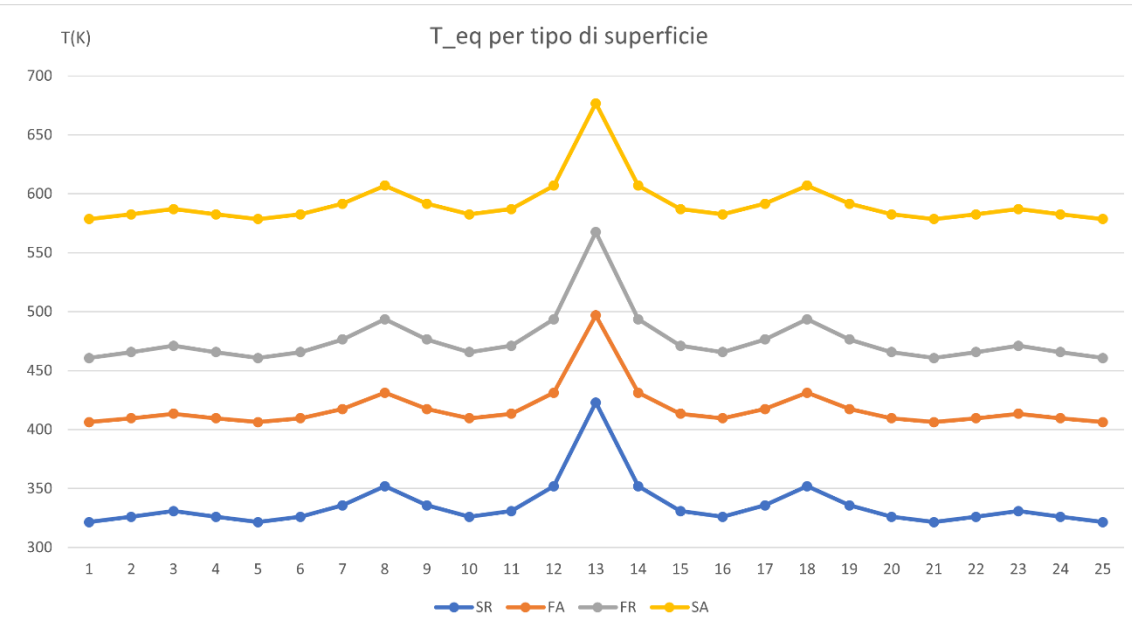


Figura 5

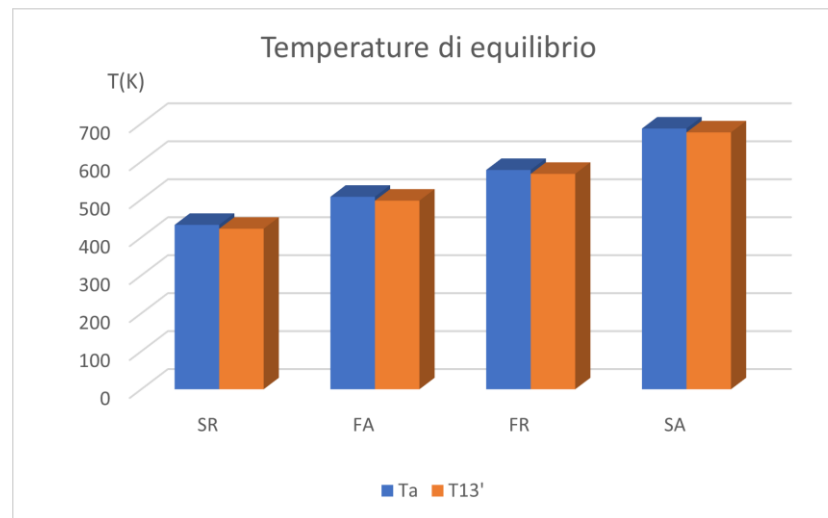


Figura 6

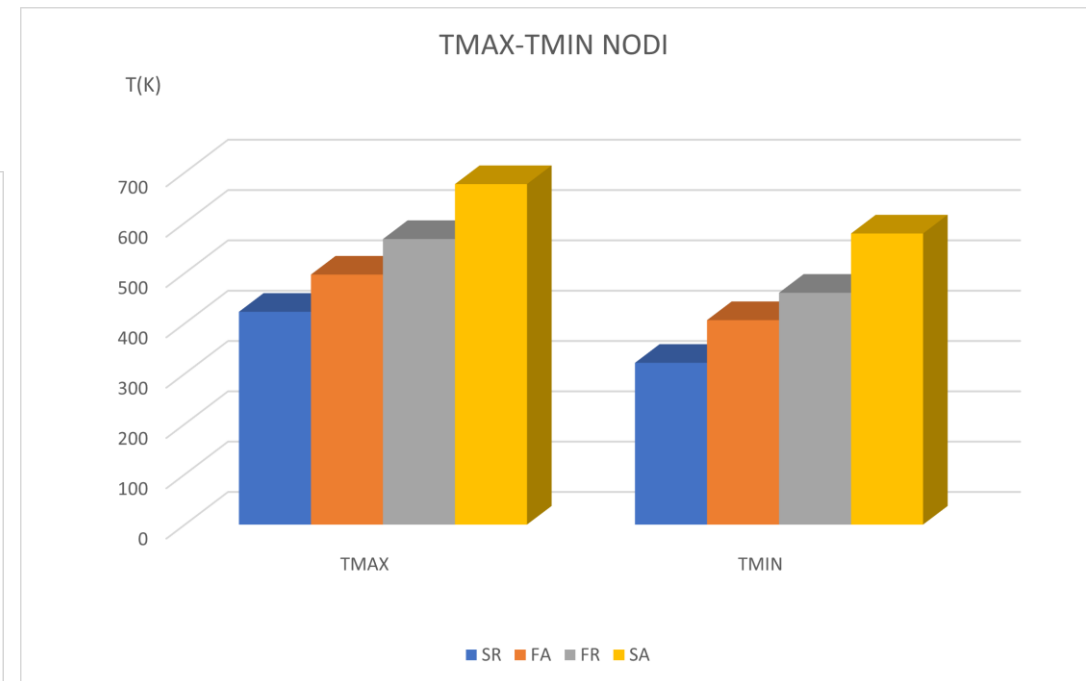


Figura 7

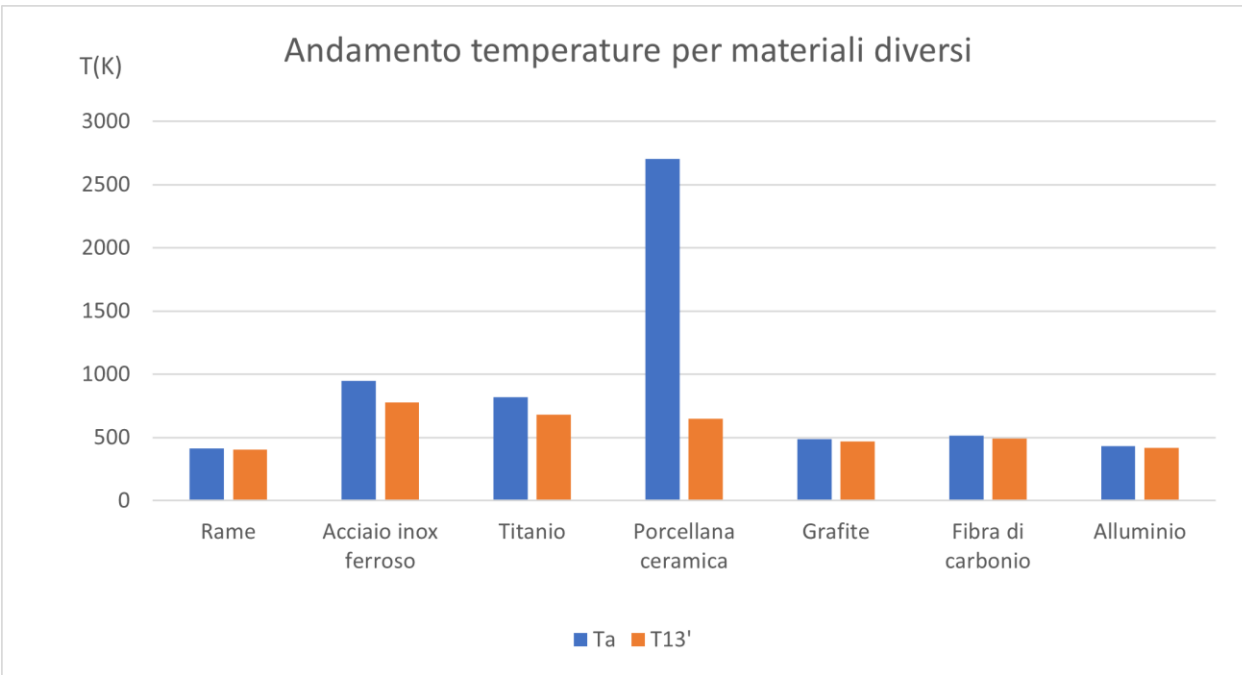


Figura 8

Un sistema realizzato in ceramica, ad esempio, per quanto possa avere una massa ridotta, raggiunge temperature inaccettabili. L'opposto accadrebbe utilizzando il rame. L'alluminio rimane uno dei migliori candidati.

È utile operare un confronto tra diversi tipi di materiale per osservare direttamente in quali casi si raggiunge la massima efficienza, sia in termini di temperatura del radiatore che di massa.

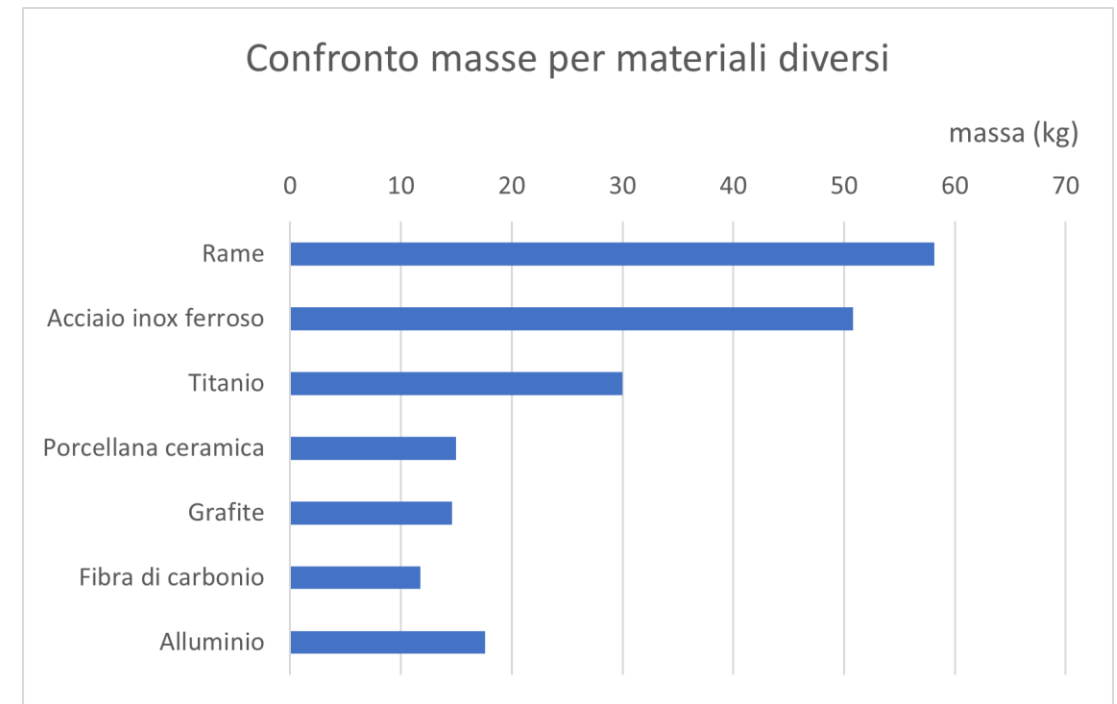


Figura 9

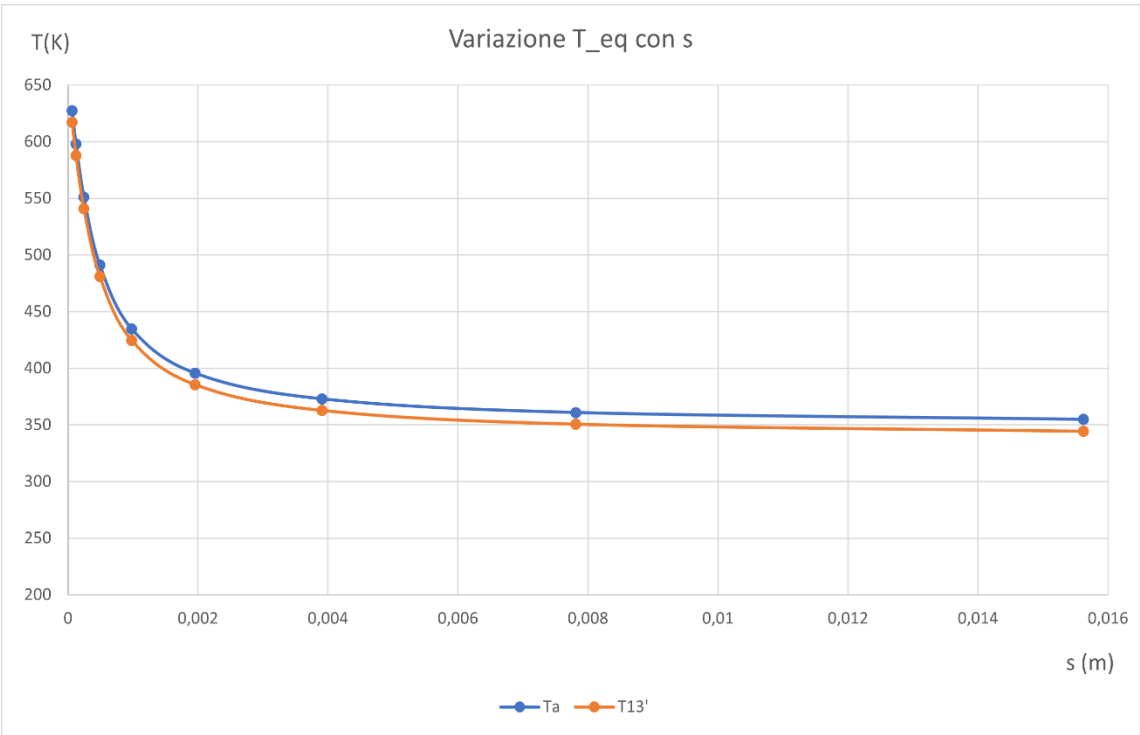


Figura 10

Al diminuire dello spessore del radiatore, la temperatura di equilibrio aumenta sensibilmente, mentre per valori superiori ai 4 millimetri si stabilizza attorno a 350 K.

All'aumentare del flusso di calore interno, si osserva come la temperatura di equilibrio sul radiatore aumenti proporzionalmente e si raggiunga in tempi via via ridotti (fig. 11).

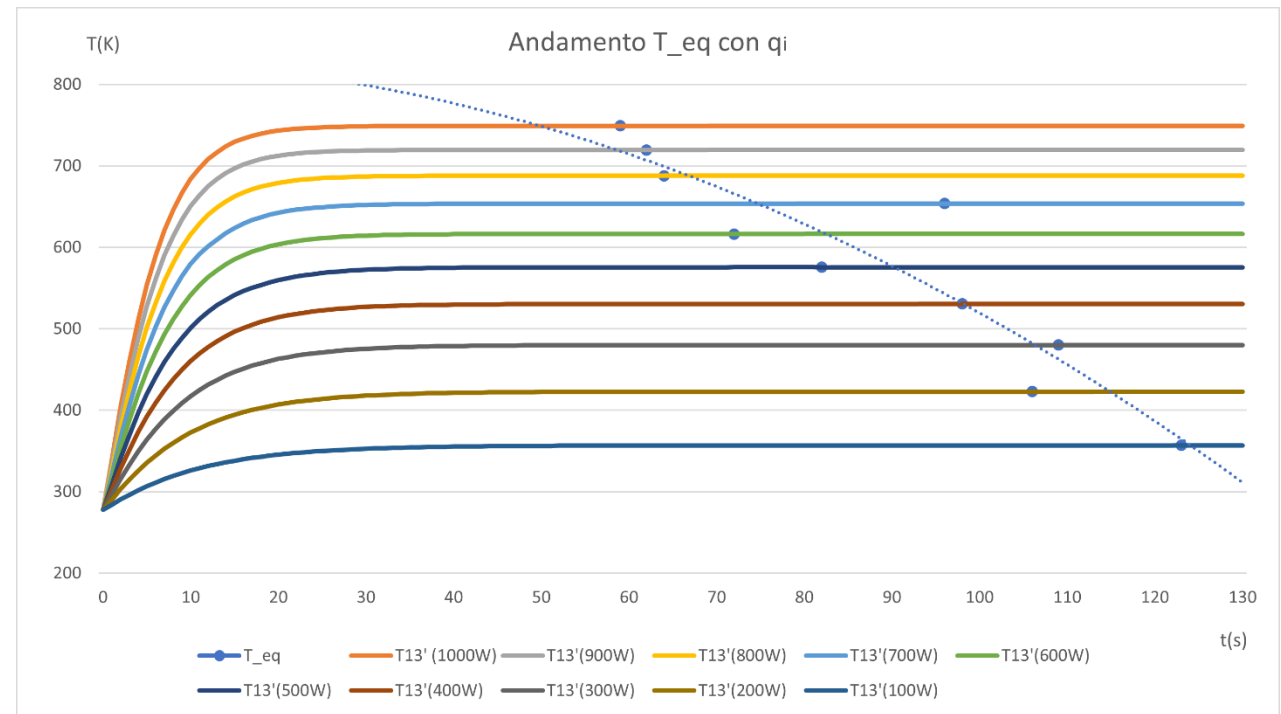


Figura 11

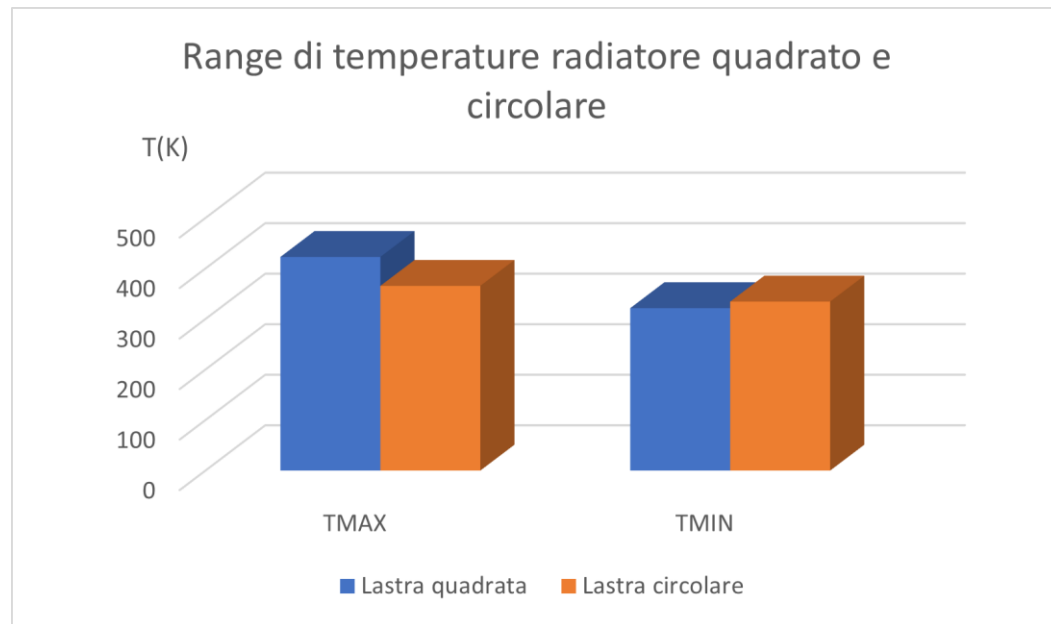


Figura 12

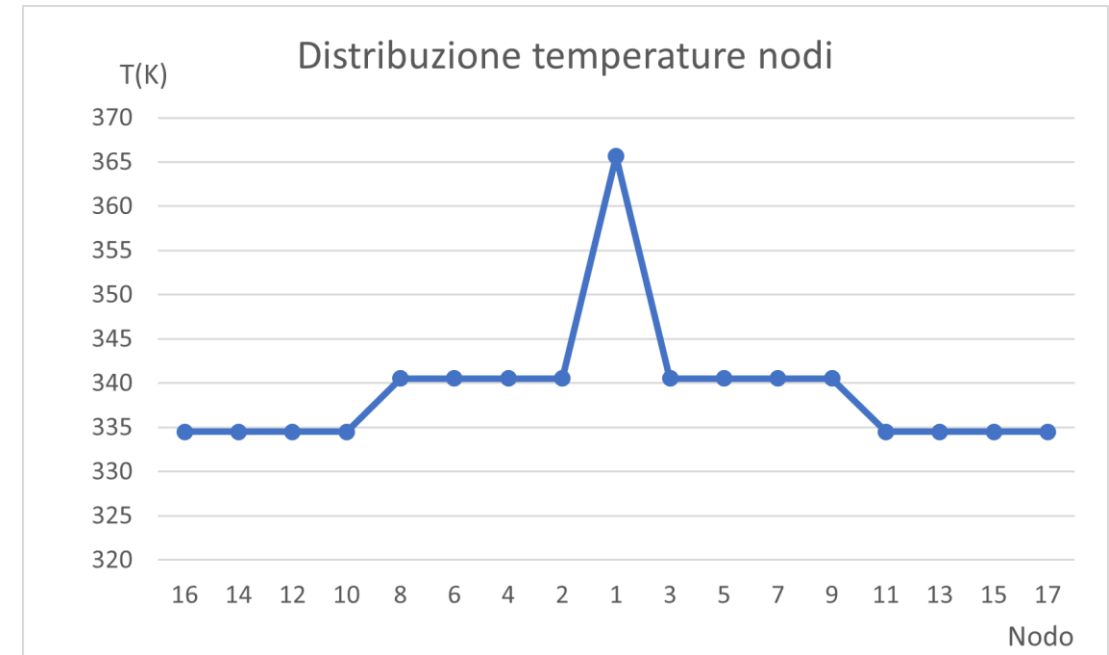


Figura 13

Si propone infine un confronto tra un radiatore quadrato ed uno circolare, dove il lato del primo coincide con il diametro del secondo: si osservi (figg. 12-13) come nel caso di una lastra circolare non solo la temperatura del nodo centrale sia minore, ma anche il range di temperatura sia meno esteso. In particolare, la massima e la minima temperatura raggiunta sul radiatore circolare sono rispettivamente 365,643 K e 334,513 K.

I risultati riportati permettono di valutare l'importanza di alcuni parametri: ad esempio, la conducibilità termica e il calore specifico del materiale rivestono un ruolo centrale. Materiali ceramici e materie plastiche sono pessimi da un punto di vista termico perché le temperature raggiunte sono incompatibili col sistema. Ciò è legato a bassi valori di conducibilità termica.

Al contrario, i migliori candidati risultano rame, alluminio e grafite: occorre allora optare per la soluzione che comporta massa minore al momento del lancio.

Lo spessore del materiale non è così rilevante per valori superiori ai 4 millimetri.

Per quanto riguarda i diversi tipi di superficie, si preferisce realizzare un *solar reflector*, ad esempio tramite l'utilizzo di vernici bianche.

Infine, al variare del flusso da smaltire, si rende in certi casi necessario implementare un metodo più efficiente, rappresentabile con un sottosistema di controllo termico attivo.

Si riporta per completezza, prese in considerazione tutte le variabili finora analizzate, una delle soluzioni di compromesso migliori: è il caso di un radiatore circolare realizzato in alluminio e di spessore pari a 5 mm. Si evidenzia nell'immagine sottostante una distribuzione di temperature estremamente soddisfacente. Il range di temperatura è di appena 6,371 K.

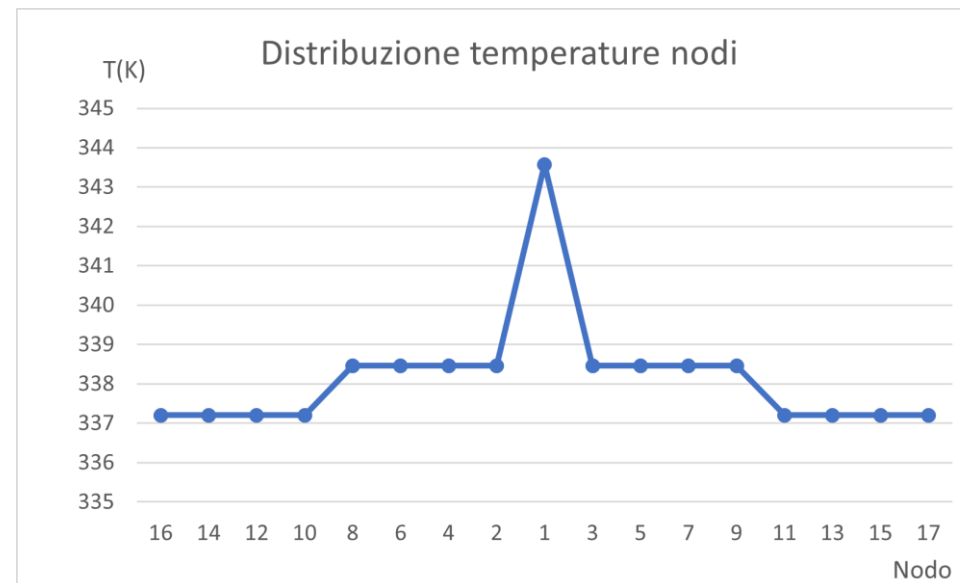


Figura 14

- Brunello P., *Lezioni di Fisica Tecnica*, Napoli, EdiSES S.r.l., 2017.
- Gilmore D.G., *Spacecraft Thermal Control Handbook. Volume I: Fundamental Technologies*, El Segundo (California), The Aerospace Corporation, 2002.