



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## THERMAL MANAGEMENT OF SPACECRAFT SYSTEM

**MAURO MAMELI**

Anno accademico 2023/24  
CdS INGEGNERIA AEROSPAZIALE  
Codice 1136I  
CFU 6

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
THERMAL MANAGEMENT OF SPACECRAFT SYSTEM	ING-IND/10	LEZIONI	60	SAURO FILIPPESCHI MAURO MAMELI

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Lo studente che completa con successo l'intero percorso di questo corso acquisirà una conoscenza degli elementi fondamentali sul controllo termico dei satelliti, e delle principali strategie di progettazione. Egli avrà una solida conoscenza dei principi fisici di scambio termico in ambiente spaziale (conduzione e irraggiamento) e li saprà applicare per definire la dinamica termica di un satellite. Egli conoscerà inoltre i principali metodi numerici per ottenere la soluzione delle equazioni che caratterizzano la gestione termica del satellite e saprà implementarli tramite lo sviluppo e l'utilizzo di un programma di calcolo. Lo studente conoscerà i principali elementi utilizzati per la gestione termica di un satellite e li saprà selezionare durante il processo di progettazione termica di una missione spaziale.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Lo studente sarà valutato singolarmente sulla sua capacità di discutere il progetto di fine anno e i maggiori contenuti del corso usando un linguaggio chiaro e una metodologia appropriata. Lo studente dovrà esporre con chiarezza i concetti generali del corso e deve essere abile di collegare differenti argomenti del corso sia da un punto di vista teorico che applicativo.

#### *Capacità*

Lo studente che completerà il corso con successo acquisirà:

- Conoscenze di base dell'ambiente termico spaziale in cui opera un satellite e del suo sistema di controllo termico (TCS).
- Conoscenze approfondite sull'irraggiamento e il calore scambiato per conduzione e irraggiamento con alcune soluzioni numeriche.
- Competenze di base di programmazione in ambiente Matlab per l'interpretazione e l'ulteriore sviluppo autonomo di un codice per la simulazione termica dinamica di un piccolo satellite.
- Capacità di svolgere analisi termiche preliminari e simulazioni di casi studio con il codice matlab sviluppato.
- Abilità di analisi dei risultati numerici e del loro confronto con dati misurati in casi reali.
- Consapevolezza sulla ricerca attuale nel campo delle nuove soluzioni termiche per applicazioni spaziali.
- Capacità di redigere rapporti sui risultati in modo sintetico e coerente.

#### *Modalità di verifica delle capacità*

Lo studente sarà valutato sulla sua capacità di progettazione termica preliminare di un satellite di piccole dimensioni nella cornice di una missione spaziale.

#### *Comportamenti*

Lo studente dovrà partecipare attivamente alle lezioni. Lo studente dovrà responsabilmente concludere i compiti assegnati durante il corso. Egli dovrà essere capace di analizzare i problemi in autonomia e di proporre soluzioni che da discutere in gruppi di lavoro. Egli dovrà adattare il proprio comportamento alla risoluzione dei diversi problemi tecnici incontrati durante il corso.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Lo studente sarà valutato sulla sua capacità di partecipare attivamente alle lezioni (chiedendo dettagli, individuando eventuali errori nei materiali didattici, commentando le soluzioni proposte dal docente e in ultima istanza, calcolare in autonomia i principali parametri tecnici dell'esercitazioni pratiche). Lo studente sarà valutato sulla sua capacità di lavorare in gruppo durante le esercitazioni e durante lo sviluppo del progetto d'esame.



## UNIVERSITÀ DI PISA

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

- Analisi matematica: Siano appresi i concetti di: funzione (anche a più variabili), limite, derivata, integrale, Trigonometria, Equazioni differenziali lineari.
- Fisica: Misura delle grandezze fisiche e unità di misura. analisi dimensionale. Principi ed equazioni fondamentali della meccanica.
- Algebra: Grandezze scalari e vettoriali. Elementi fondamentali del calcolo vettoriale.
- Termodinamica Applicata: termodinamica di base e fondamenti di scambio termico (conduzione, convezione e irraggiamento).

### Corequisiti

Sarebbe auspicabile la conoscenza della meccanica del volo spaziale.

### Indicazioni metodologiche

Lezione frontale (frequenza fortemente consigliata), esercizi al computer con Matlab®.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

- **Introduction (~5hrs):** course overview, context and motivation, course objectives, definition of thermal control systems and their classification, overview of available modeling simulation tools, introduction to Matlab®, Exercise session.
- **Space thermal environments (~8 hrs):** heat loads overview and definitions, spacecraft orbit definition, Exercise session, Sun position vector, Homework session, Eclipse model, Exercise session, Satellite topology, Exercise session, Satellite spin, Homework session.
- **Radiation (~5 hrs):** electromagnetic waves and spectrum, mathematical definitions, emitted and incident radiation, radiosity, blackbody, Planck, Wien and Stefan-Boltzmann Laws, emissivity, absorptivity, reflectivity, transmissivity, Kirchoff's Law, Surface treatments, Exercise session.
- **Radiative Heat Transfer (~10 hrs):** view factors, Exercise session, solar/albedo/earth heat exchange calculations, Homework session, radiative heat exchange in a n-surface cavity, Exercise session, internal radiation applied to a cube-sat, Homework session.
- **Multimode transient heat transfer (~12 hrs):** recap on heat equation, finite difference methods, space domain (forward, backward, centered), time domain (explicit, implicit), stability criteria, application of 1D explicit FD method to the multimode (conduction, radiation, convection) heat equation, thermal contact resistances, Exercise session, solution of the multimode heat equation, Homework session, implementation of the stability criterion, Homework session.
- **Spacecraft Thermal Design (~3 hrs):** criteria, requirements, phases.
- **Final project development (~15 – 20 hrs).**

### Bibliografia e materiale didattico

- [1] Gilmore G., Spacecraft Thermal Control Handbook, Vol 1: Fundamental Technologies, The Aerospace Press, El Segundo California, 2002.
  - [2] Mengali G., Quarta A., Fondamenti di Meccanica del Volo Spaziale, Pisa University Press, 2013.
  - [3] Incropera F.P., Dewitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S., Fundamental of Heat and Mass Transfer, 6th edition, 2007, Wiley.
  - [4] Thornton E.A., Thermal Structures for Space Applications, AIAA Education Series, 1996.
  - [5] VanOutryve, B. C., A Thermal Analysis and Design tool for Small Spacecraft, MSc Thesis in Mechanical and Aerospace Eng., SJSU ScholarWorks, San Jose, CA, 2008.
  - [6] ECSS-E-HB-31-03A, Space Engineering Thermal Analysis Handbook, ECSS Secretariat, ESA-ESTEC Requirements and Standard Division, Noordwijk, The Netherlands, 15 November 2016.
  - [7] AFRL-20222564, Small Satellite Thermal Modeling Guide, Air Force Research Laboratory, Space Vehicles Directorate, AFRL/RVSV, 3550 Aberdeen Dr. SE, Kirtland AFB, NM 87117-5776, July 2022.
- Powerpoint Slides and audio/video recordings of the lessons.

### Indicazioni per non frequentanti

E' possibile sostenere l'esame da non frequentante. Il candidato verrà comunque assegnato ad un gruppo di lavoro per lo svolgimento del progetto di fine anno e sarà quindi tenuto ad interfacciarsi autonomamente con i membri del gruppo per stabilire il suo contributo al progetto.

### Modalità d'esame

Metodo: Rapporto scritto (progetto di fine anno) ed esame orale.

L\* student\* dovrà redigere una relazione scritta che descrive il processo di progettazione termica di un piccolo satellite sulla base dei requisiti di missione e i risultati delle simulazioni termiche. I contenuti minimi della relazione dovranno essere: descrizione del contesto e degli obiettivi, della scelta dei parametri di progetto termici e la loro implementazione nel codice di calcolo, la descrizione della procedura e dei parametri di simulazione, i risultati numerici della simulazione corredati da grafici, l'interpretazione di tali risultati alla luce degli obiettivi di missione e le conclusioni contenenti eventuali proposte per miglioramento o sviluppi futuri. Gli studenti potranno poi decidere opzionalmente di presentare i risultati in sede di esame con una presentazione di massimo 20 diapositive.

L\* student\* sarà valutato singolarmente sulla sua capacità di discutere il progetto di fine anno e i maggiori contenuti del corso usando un linguaggio chiaro e una metodologia appropriata. Lo studente dovrà esporre con chiarezza i concetti generali del corso e deve essere abile di collegare differenti argomenti del corso sia da un punto di vista teorico che applicativo.



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

Stage e tirocini  
N/A

*Ultimo aggiornamento 26/10/2023 16:32*