www.dii.unipd.it

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

# *Relazione per la prova finale*

# *Test termici sul sensore di impatti di detriti spaziali della missione Alba CubeSat*

Tutor universitario: Prof. Alessandro Francesconi

Correlatore: Dott. Federico Basana

Laureando*: Andrea Vittadello*

Padova, 17/03/2025

# INTRODUZIONE E OBIETTIVI



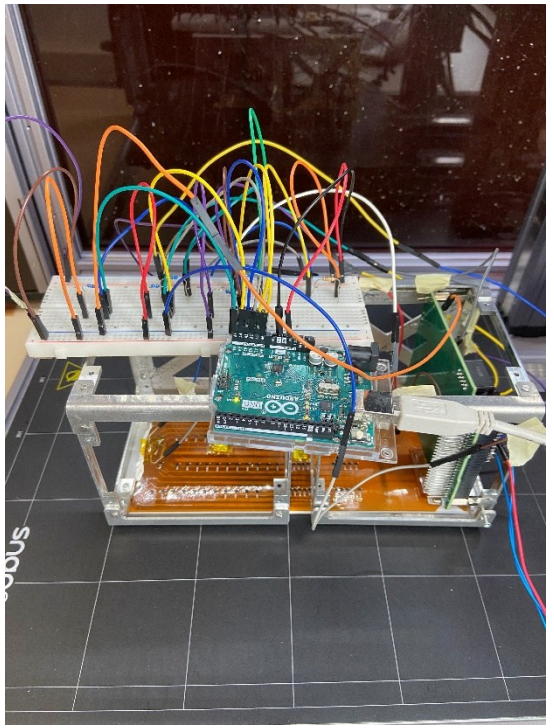
www.dii.unipd.it

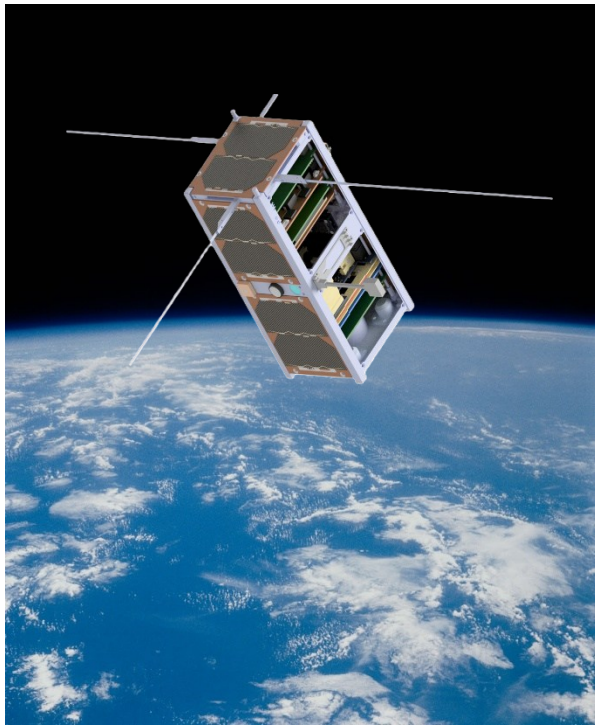
Il lavoro di tesi si propone di:

- **Condurre test termici sul sensore** di impatti **di detriti spaziali** del satellite **AlbaSat**
- **Comprendere il fenomeno della conduzione termica** dall'Impact Sensor ai componenti interni, i.e. la Control Board
- Elaborare e **analizzare i risultati** ottenuti
- Ricavare i parametri necessari per **validare le simulazioni termiche**

Indice degli argomenti trattati:

- I nanosatelliti e lo standard CubeSat
- La missione Alba CubeSat
- Il problema degli space debris e il sensore di impatti
- Test termici: Analisi termiche
- Setup sperimentale e procedura preliminare
- Test preliminari e simulazione
- La campagna di test
- Risultati e grafici
- Parametri utili per la validazione delle simulazioni
- Analisi statistica: interpretazione dei dati
- Conclusioni



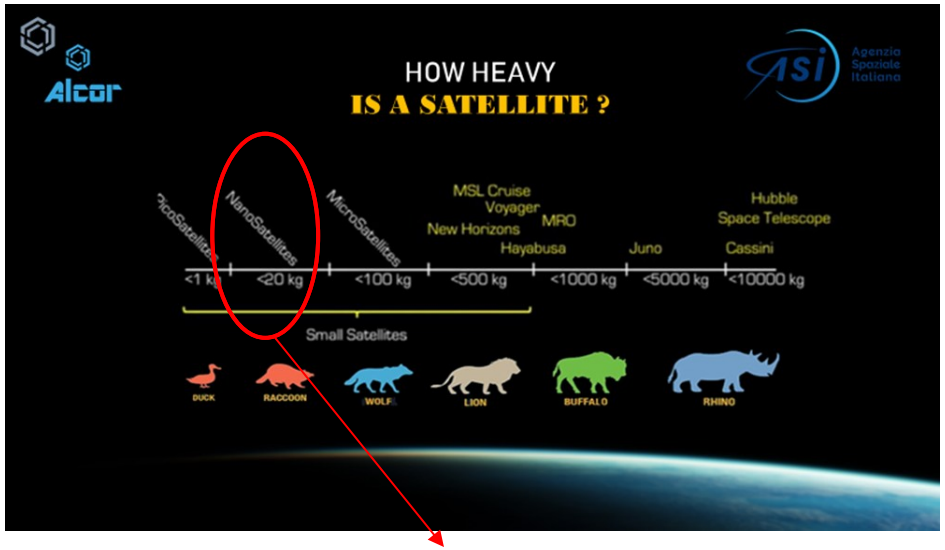


# I NANOSATELLITI E LO STANDARD CUBESAT



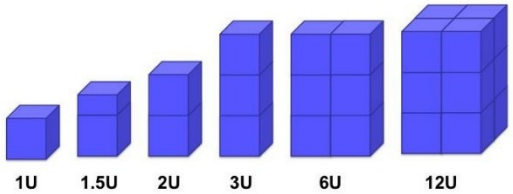
www.dii.unipd.it

Come possiamo classificare i satelliti?




Nato nel 1999 per scopi formativi, è un satellite caratterizzato da **unità cubiche** di dimensioni **standardizzate** (10x10x10 $cm^3$; 1.3 kg)

Ha consentito l'accesso allo spazio a università, centri di ricerca e imprese, contribuendo al fenomeno della **«democratizzazione dello spazio»**




## I NANOSATELLITI → I CUBESAT

**Utilizzi:**

- Osservazione della Terra
- Telecomunicazioni
- Navigazione satellitare
- Meteorologia
- Astronomia
- Esperimenti scientifici

**Vantaggi:**

- ✓ Costi di sviluppo della missione e di lancio ridotti
- ✓ Tempi molto ridotti
- ✓ Massa e dimensioni ridotte
- ✓ Spiccata versatilità
- ✓ Uso intensivo di COTS

# LA MISSIONE ALBA CUBESAT



Nato nel 2019, **Alba CubeSat UNIPD** è un team studentesco dell'Università di Padova che mira a **lanciare un satellite** nello spazio per la **prima volta nella storia dell'università** !!!

Il team è stato selezionato dall'**ESA** per partecipare al programma **FYS**!

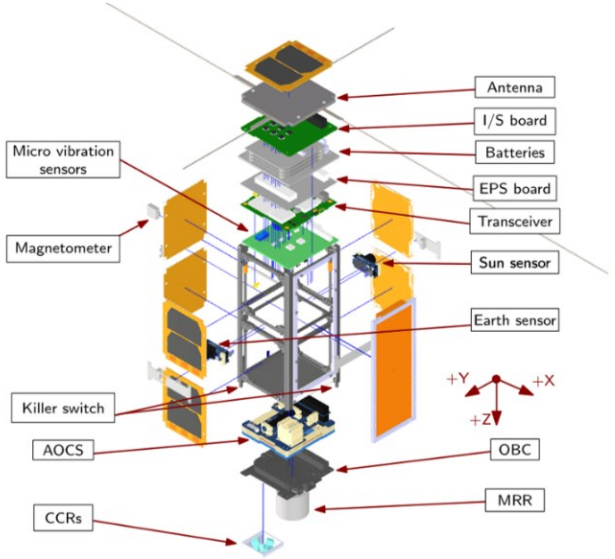
...un'esperienza unica per tutti coloro che desiderino sviluppare un vero e proprio progetto spaziale

FLY YOUR SATELLITE!

**AlbaSat**, CubeSat 2U con **4 obiettivi** di missione:

- **Studiare l'ambiente di micro-detriti** (submm) in orbita, tramite un sensore di impatti (**Impact Sensor**)
- **Misurare le micro-vibrazioni**, tramite un sensore di micro-vibrazioni
- **Determinare con precisione l'orbita** tramite algoritmi di laser ranging con una combinazione di Corner Cube Retroreflectors
- **Studiare sistemi per la comunicazione quantistica** satellitare su nanosatelliti, tramite un retroriflettore modulante

+ altri sistemi e sottosistemi

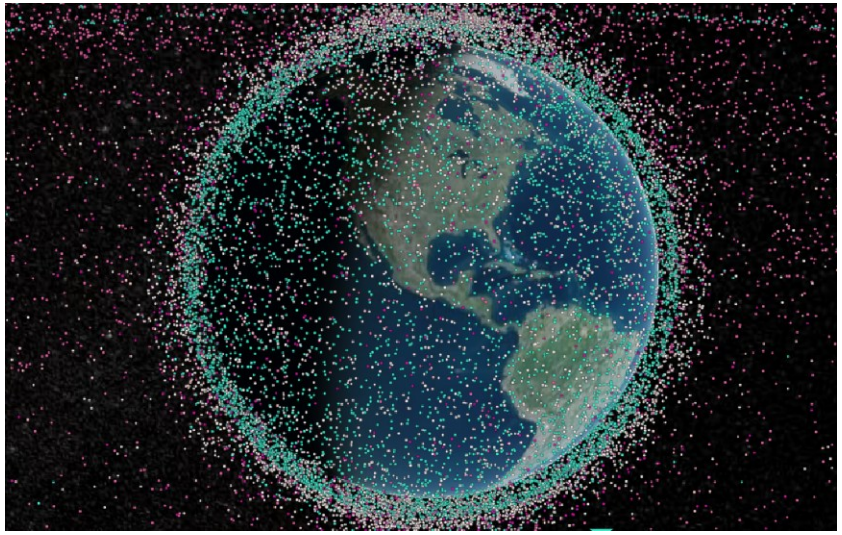



www.dii.unipd.it

# IL PROBLEMA DEGLI SPACE DEBRIS E IL SENSORE DI IMPATTI



www.dii.unipd.it



Problema: Sovraffollamento delle orbite terrestri (soprattutto LEO) ⇨ La **«Sindrome di Kessler»** e la cascata collisionale

Detriti di diametri differenti prevedono tecniche di protezione differenti:

- D < 1 cm: protezione tramite scudi di protezione
- **D = 1-10 cm**: non tracciabili da terra ma sufficientemente grandi da essere **catastrofici**
- D > 10 cm: tracciabili, evitabili con manovre evasive

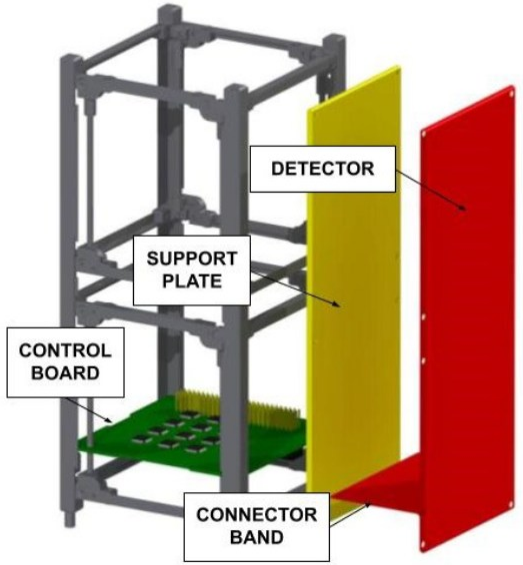
Space Surveillance Network riporta circa 40 000 oggetti tracciabili di cui:

- 25/30 % satelliti attivi
- 70/75 % space debris (d >5/10 cm): detriti derivanti da collisioni HV, eventi esplosivi, satelliti inattivi, stadi di lanciatori e oggetti non catalogati

Soluzioni

- SSA
- Deorbiting
- ...

**IMPACT SENSOR**




Caratteristiche:

- Support Plate in Teflon
- Detector in Kapton con strisce conduttive in rame
- PCB standard PC/104

# TEST TERMICI: ANALISI TERMICHE





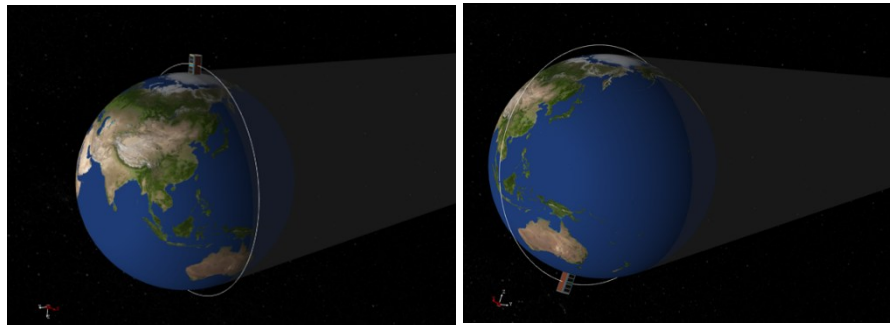
➢ **Condurre test termici sul sensore** di impatti **di detriti spaziali** del satellite **AlbaSat**

**Controllo termico:** nei CubeSat si utilizzano **sistemi passivi**, quali scudi termici, radiatori, scelta opportuna dei materiali

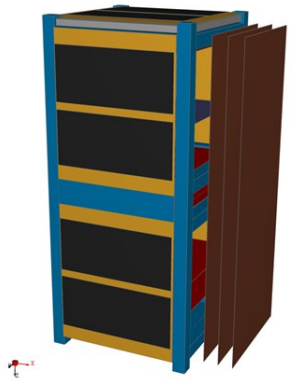
Simulazioni termiche: eseguite dal team Thermal Control tramite Systema

Scelta delle orbite

Dawn-Dusk (WHC) e Midday-Midnight (WCC)



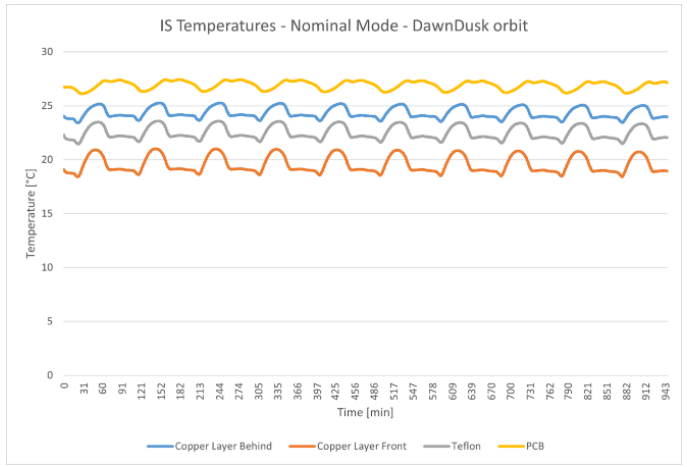
Modello geometrico

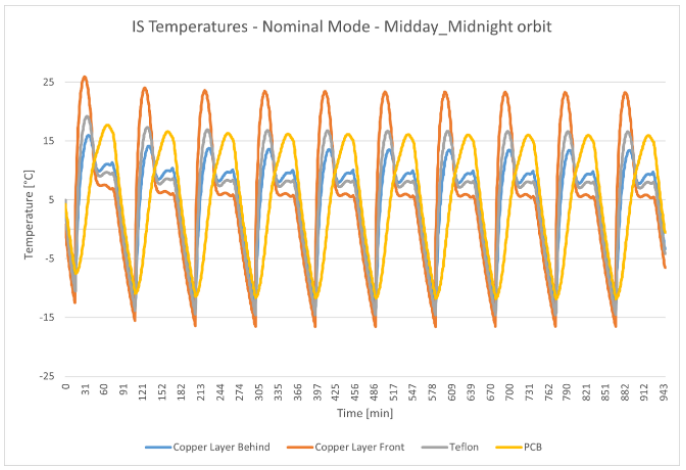


Modello matematico:

- Scelta della mesh per ciascuna delle piastre
- Inserimento degli accoppiamenti termici conduttivi tra le piastre e la Control Board
- Modalità di dissipazione di calore interna: Safe Mode e Nominal Mode
- Margine +20% alle generazioni interne

⇨

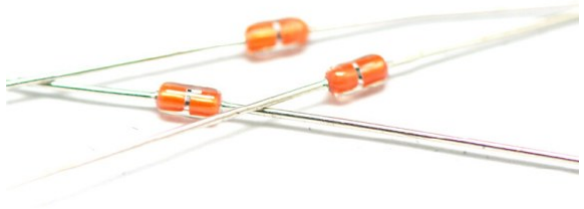



Analisi di sensibilità:
**effetto della conduzione termica quasi trascurabile**

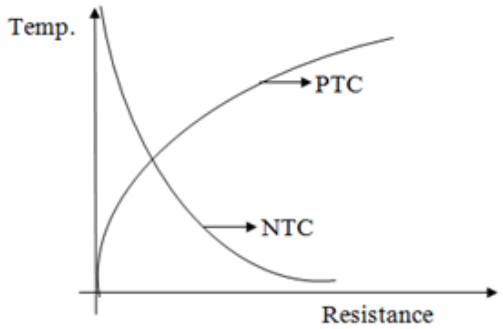
# SETUP SPERIMENTALE E PROCEDURA PRELIMINARE





Scelta del rilevatore di temperatura: **TERMISTORE** MF58Z-3950 **10 kΩ**

- Positive Temperature Coefficient
- Negative Temperature Coefficient




**Vantaggi:**

- Design compatto
- Costi ridotti
- Facilità d'uso
- Elevato grado di accuratezza per range di T non troppo ampi
- Limitatore di correnti
- Divisore di tensione

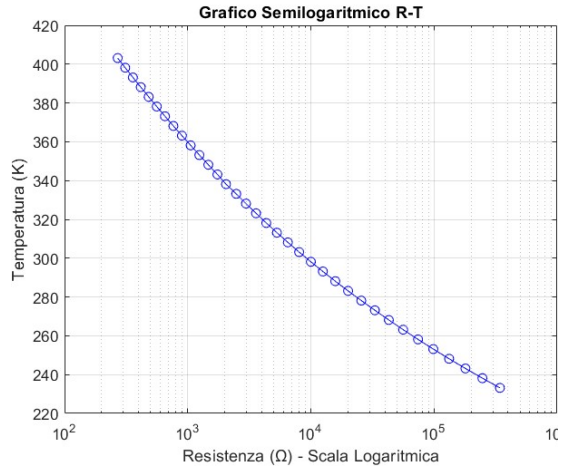
**Calibrazione** basata sul modello

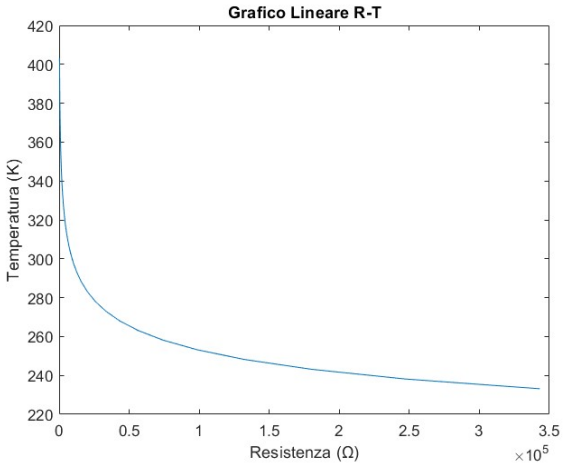
**Equazione di Steinhart-Hart** $\frac{1}{T} = A + B\ln(R) + C[\ln(R)]^3$

- Stima dei parametri A, B e C di Steinhart-Hart
- **Curva di interpolazione**, dal datasheet del sensore

**METODO DEI MINIMI QUADRATI** (OLS)

Implementazione su Matlab



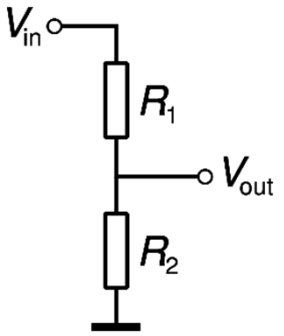




www.dii.unipd.it

# TEST PRELIMINARI E SIMULAZIONE

Come **ricavare la resistenza R(t) del termistore?**

**PARTITORE DI TENSIONE:** mappare la resistenza R su un valore di tensione V




**Arduino UNO** e Breadboard (+ jumper)

Convertitore ADC a 6 ingressi A0-A5 con risoluzione di 10 bit: 1024 stati distinti

$$V_{out} = ADC\frac{V_{in}}{1023}$$

Conversione da digitale (sistema binario) ad analogico

Arduino IDE per l'acquisizione dei dati

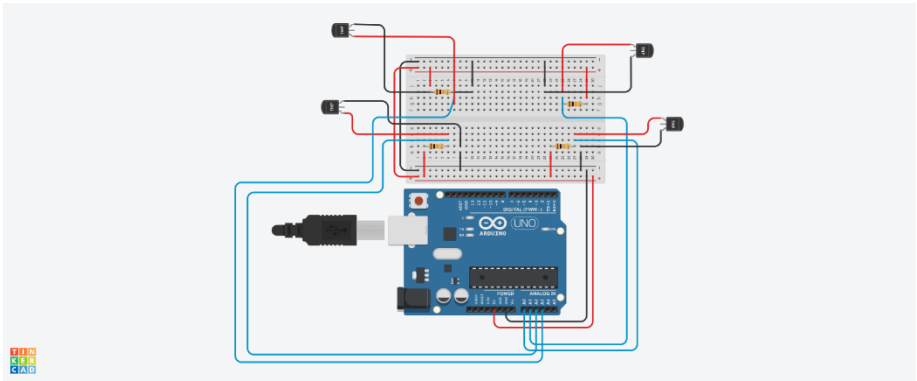
```
// procedura algebrica per il calcolo della temperatura
  V_digital0 = analogRead(pin0);
  V_analog0 = V_digital0*VCC/1023;
  Rt0 = R*(V_analog0)/(VCC - V_analog0);
  // Equazione di Steinhart-Hart
  T0 = 1/(a + b*log(Rt0) + c*log(Rt0)*log(Rt0)*log(Rt0));
  Temp0 = T0 - 273.15;
```

Computando i parametri A, B e C già stimati **nell'equazione di Steinhart-Hart**, **ricavo la temperatura T(t)**

Come ricavare R, funzione del voltaggio ai capi del termistore V?

**Legge di Ohm** applicata al partitore di tensione

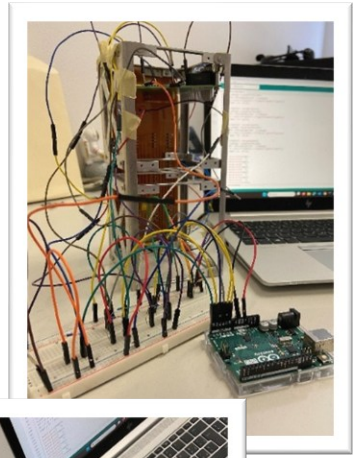
$$R_2 = R_1\frac{V_{out}}{(V_{in} - V_{out})}$$

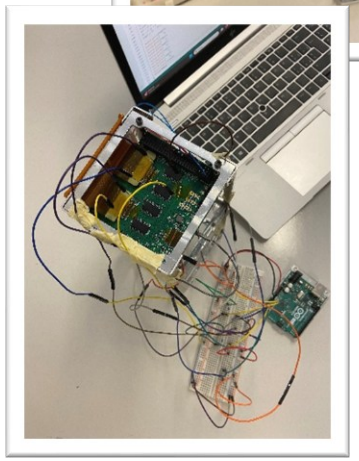


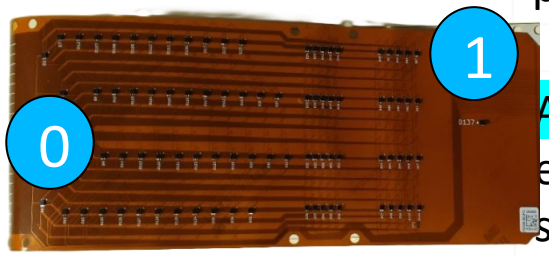
www.dii.unipd.it

# LA CAMPAGNA DI TEST










Fissare l'Impact Sensor al CubeSat e inserire la Control Board

Servendosi di una breadboard, Arduino Uno, 6 termistori, 6 resistori e diversi jumper DuPont, costruire i partitori di tensione

Collocare i termistori nelle posizioni designate sul sensore e sulla CB

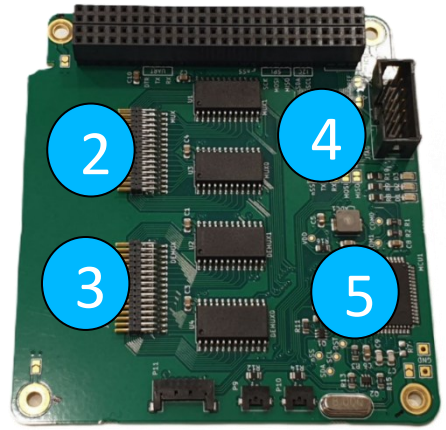
Portare il piatto della stampante 3D ad una temperatura di 50°C

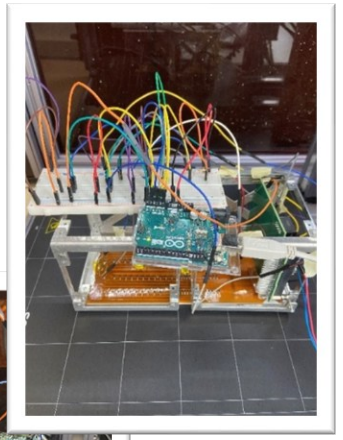
Posizionare la faccia anteriore del sensore sopra alla piastra

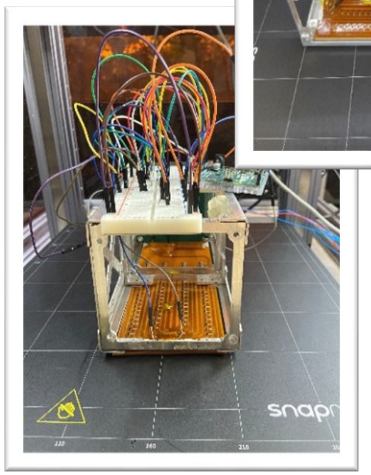
Fare un primo test di verifica di funzionamento e acquisizione dati

Togliere il DUT dal piatto, lasciarlo raffreddare per qualche minuto e poi riposizionarlo con il piatto alla temperatura di progetto.

Attendere il tempo necessario affinché le temperature si stabilizzino e dopo qualche minuto togliere il DUT. Ripetere l'operazione una seconda volta.



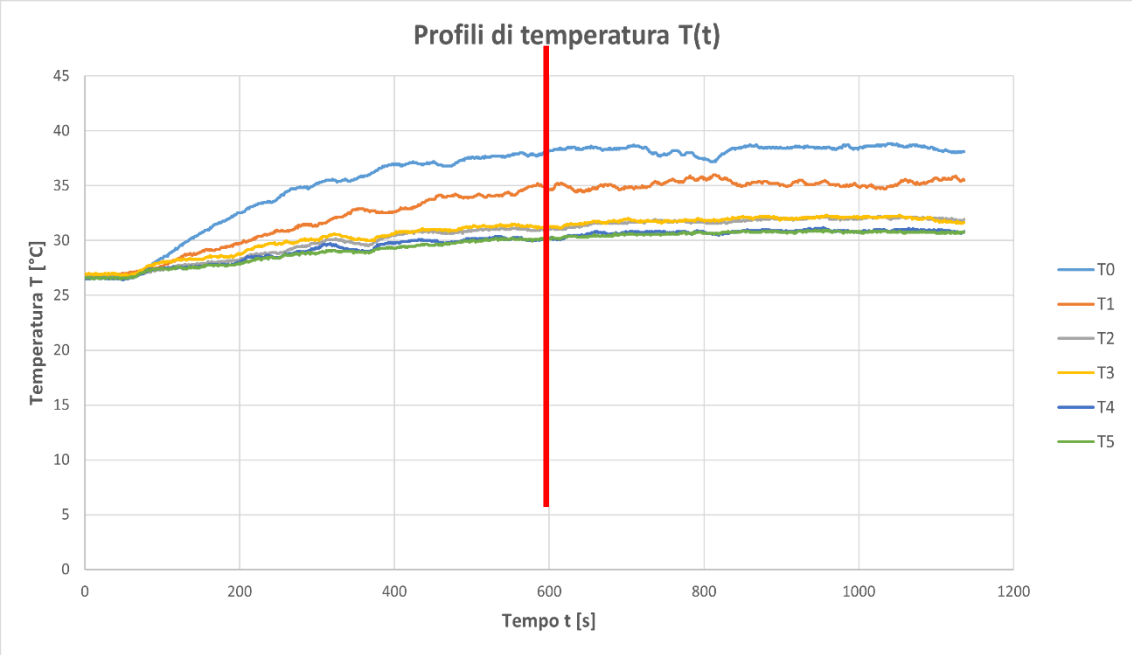





www.dii.unipd.it

# RISULTATI E GRAFICI



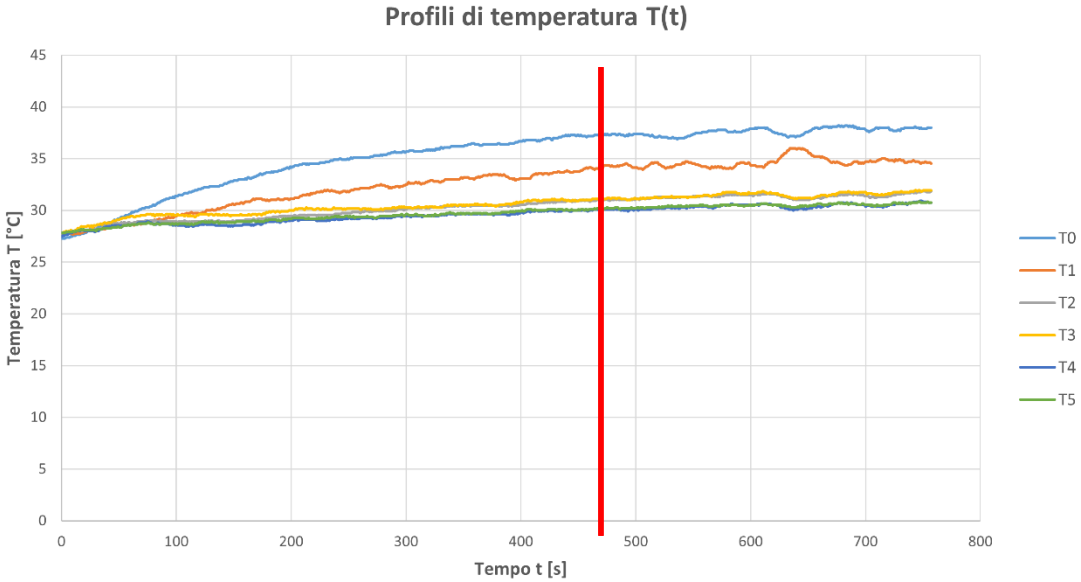



- CB accesa
- t ≈ 15 s: DUT appoggiato sul piatto riscaldante
- Durata raccolta dei dati: ca 13 minuti

❑ Fino a t ≈ 500 s: profili di temperatura CRESCENTI
❑ Per t ≥ 500 s: STABILIZZAZIONE dei grafici, lievi oscillazioni attorno ad un valor medio costante
❑ Comportamento analogo al TEST 1

- CB spenta
- t ≈ 60 s: DUT appoggiato sulla piastra a 50°C
- Durata raccolta dei dati: ca 19 minuti

❑ Fino a t ≈ 600 s: profili di temperatura CRESCENTI
❑ Per t ≥ 600 s: STABILIZZAZIONE dei grafici, lievi oscillazioni attorno ad un valor medio costante
❑ La faccia posteriore del sensore registra T più elevate
❑ Trasmissione di calore per conduzione dal sensore alla CB quasi nulla

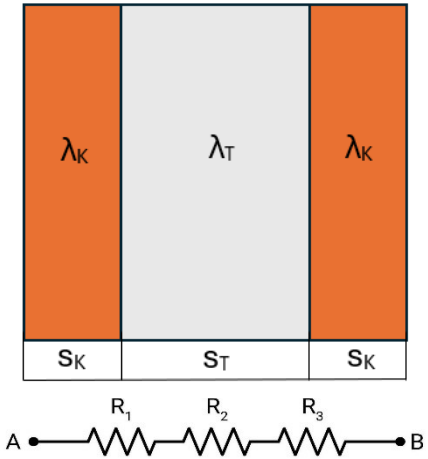



www.dii.unipd.it

# PARAMETRI UTILI PER LA VALIDAZIONE DELLE SIMULAZIONI



## Stima della resistenza termica equivalente per conduzione attraverso il sensore




$$R_{th,cond} = \frac{s}{\lambda A}; G = \frac{1}{R_{th,cond}}$$

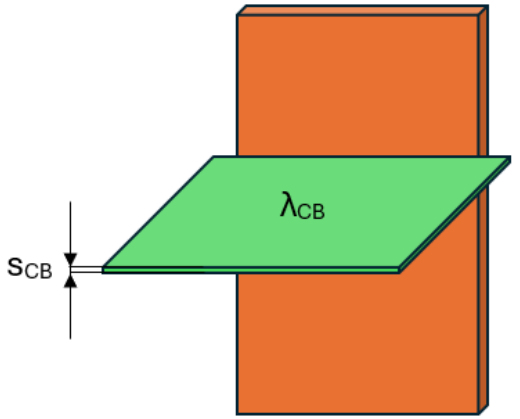
$$R_{t,eq} = R_{t,K} + R_{t,T} + R_{t,K}$$

$$A = (83 \times 213)\ mm^2; s_K = 0.05\ mm; s_T = 3\ mm$$

$$\lambda_K = 390\ \frac{W}{mK}; \lambda_T = 0.195\ \frac{W}{mK}$$

$$R_{t,eq} = 2\frac{s_K}{\lambda_K A} + \frac{s_T}{\lambda_T A} \approx R_{t,T} = 0.87\ \frac{K}{W}$$

## Stima della resistenza termica equivalente per conduzione tra IS e CB




$$A_{contatto} = (83 \times 2)\ mm^2; l_{CB} = 90\ mm; s_{CB} = 2\ mm$$

$$\lambda_{CB} = 0.25\ \frac{W}{mK};$$

$$R_{t,eq} = R_{IS} + R_{CB} + R_C = 2\frac{s_K}{\lambda_K A_{contatto}} + \frac{s_T}{\lambda_T A_{contatto}} + \frac{l_{CB}}{\lambda_{CB} A_{contatto}}$$

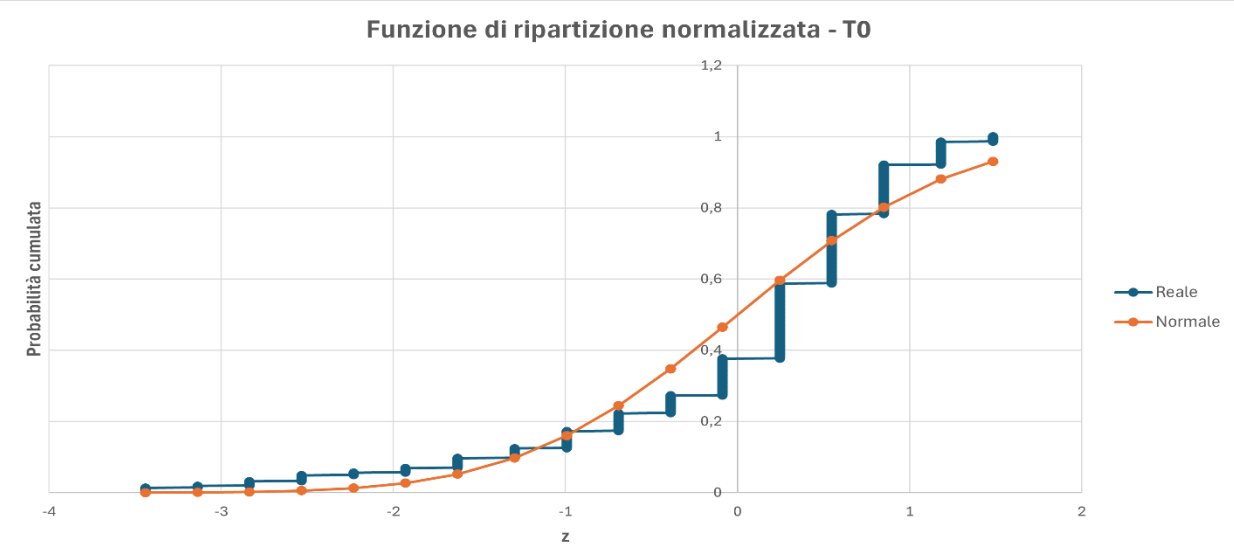
$$R_{t,eq} = R_{IS} + R_{CB} \approx \frac{s_T}{\lambda_T A_{contatto}} + \frac{l_{CB}}{\lambda_{CB} A_{contatto}} = 2261.35\ \frac{K}{W}$$

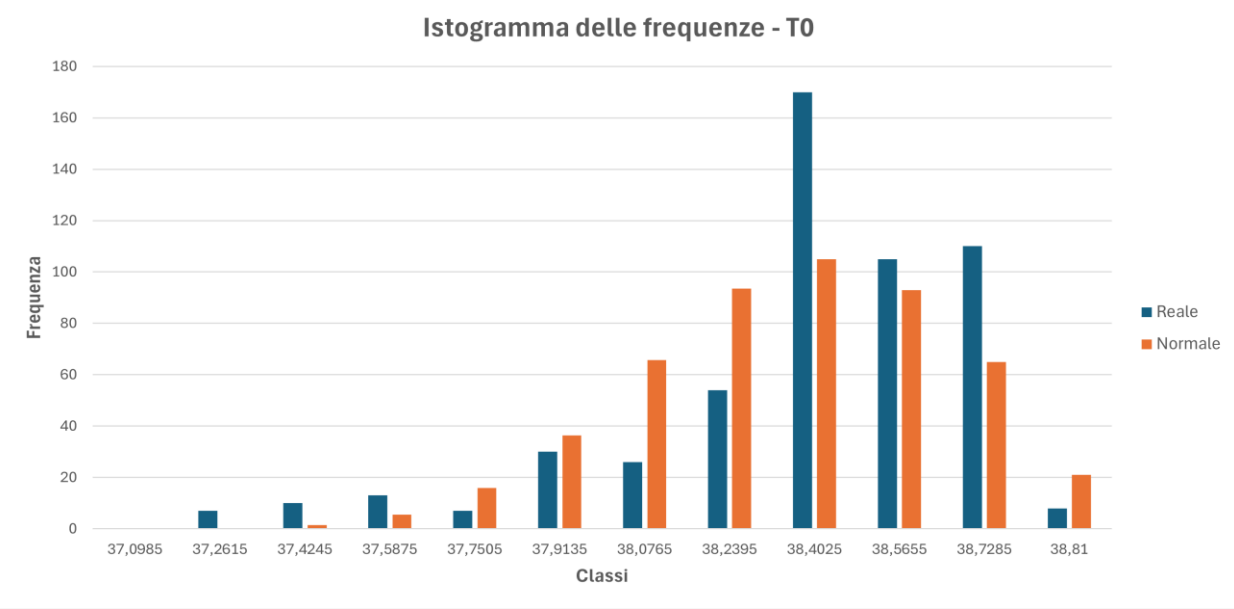
$$R_{CB} = \frac{l_{CB}}{\lambda_{CB} A_{contatto}} = 2168.67\ \frac{K}{W}$$

www.dii.unipd.it

# ANALISI STATISTICA: INTERPRETAZIONE DEI DATI






1. Stimare i principali parametri descrittivi (media e deviazione standard)
2. Individuare i dati stabili e riordinarli in modo crescente e normalizzarli in z
3. Calcolare la probabilità cumulata in funzione dei valori sperimentali assunti dalla variabile T
4. Suddividere i dati stabili in k classi
5. Computare la frequenza reale per ciascuna classe
6. Confrontare i grafici relativi alla distribuzione reale con quelli della corrispondente distribuzione Gaussiana (normale)

**NON** segue l'andamento di una distribuzione normale

Possibili cause:

- Errori casuali (oscillazioni improvvise delle condizioni ambientali)
- Errori sistematici (limitata risoluzione dello strumento)
- Natura del fenomeno

www.dii.unipd.it

# CONCLUSIONI



www.dii.unipd.it

- **Studiare il fenomeno della conduzione termica** ✓
- **Verificare la trascurabilità della trasmissione di calore per conduzione dall'Impact Sensor alla Control Board** ✓
- **Valutare il percorso conduttivo preferenziale per il trasferimento del calore** ✓
- **Validare le analisi termiche** ✓