

# Politecnico di Torino

Monografia di Laurea  
Ordinamento D.M. 509 / 99



## Analisi Termica e Strutturale di una Tile per satelliti modulari AraMiS

### **Relatori:**

Prof. Leonardo Reyneri  
Prof. Paolo Maggiore

**Candidato:**  
Alberto Brandl

# Analisi Termica e Strutturale di una Tile per satelliti modulari AraMiS

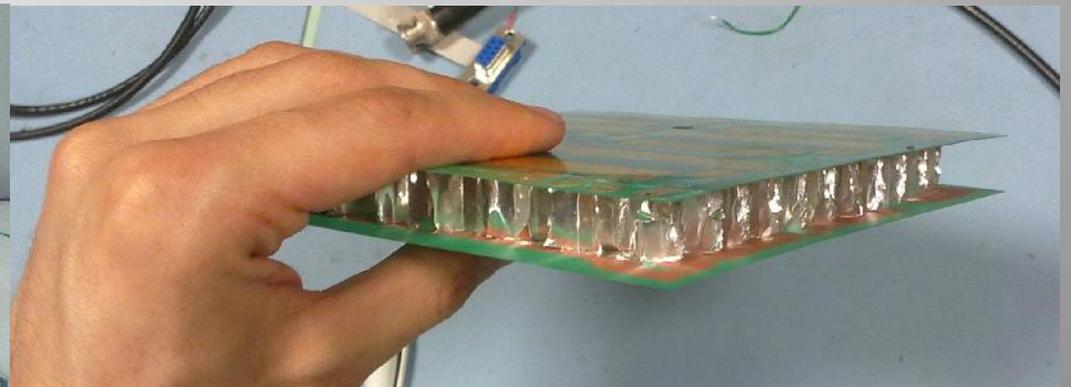
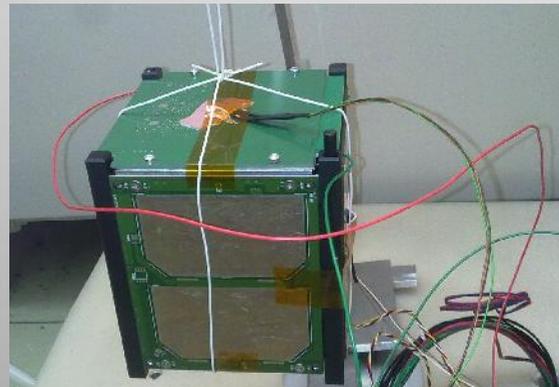
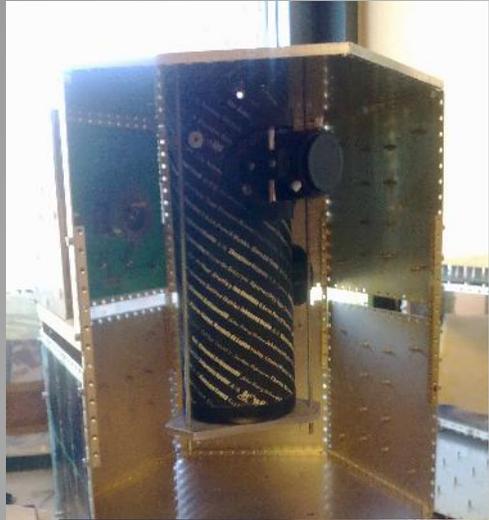
Architettura modulare per nanosatelliti

- Vita media 5 anni
- Quota 800 km

## 1B8: Power Management Tile

Diverse configurazioni possibili:

- Piastra in alluminio
- Sandwich con core in honeycomb



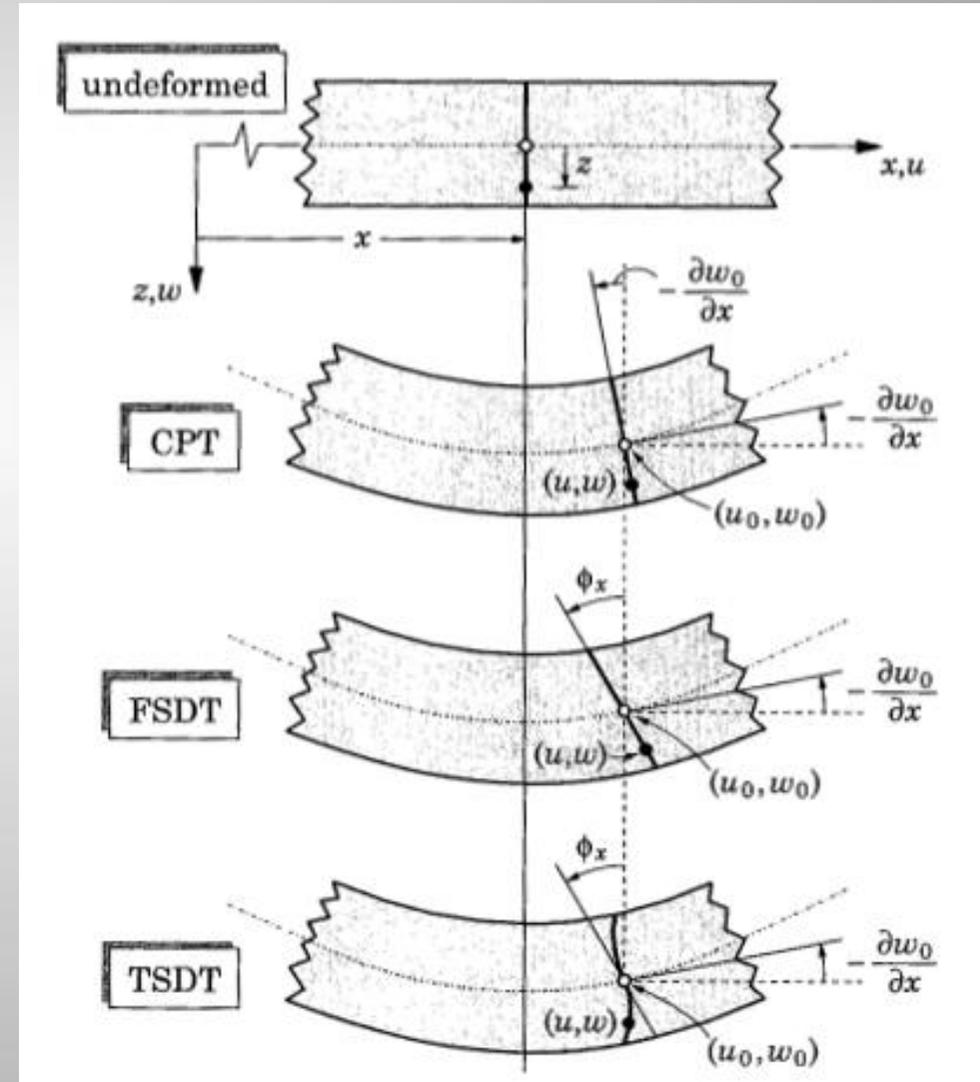
# Analisi Strutturale

Condizioni al contorno  
incastrate

- **Classical Plate Theory** contro **FSDT** (First Shear Deformation Theory)
- Metodo di **Rayleigh-Ritz**

$$w(x, y) \simeq \sum_{j=1}^N c_j \phi_j(x, y) \quad \phi_{ij} = X_i(x)Y_j(y)$$
$$([R] - \omega^2[B]) \{c\} = \{0\}$$

- Considerazioni sullo smorzamento



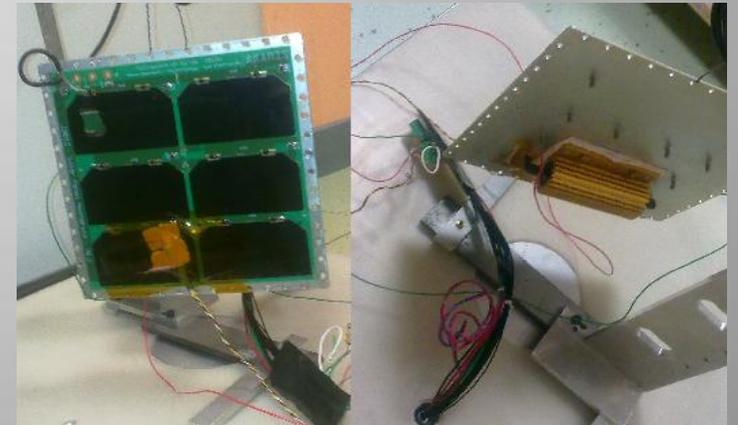
# Analisi Termica

## Tre fasi:

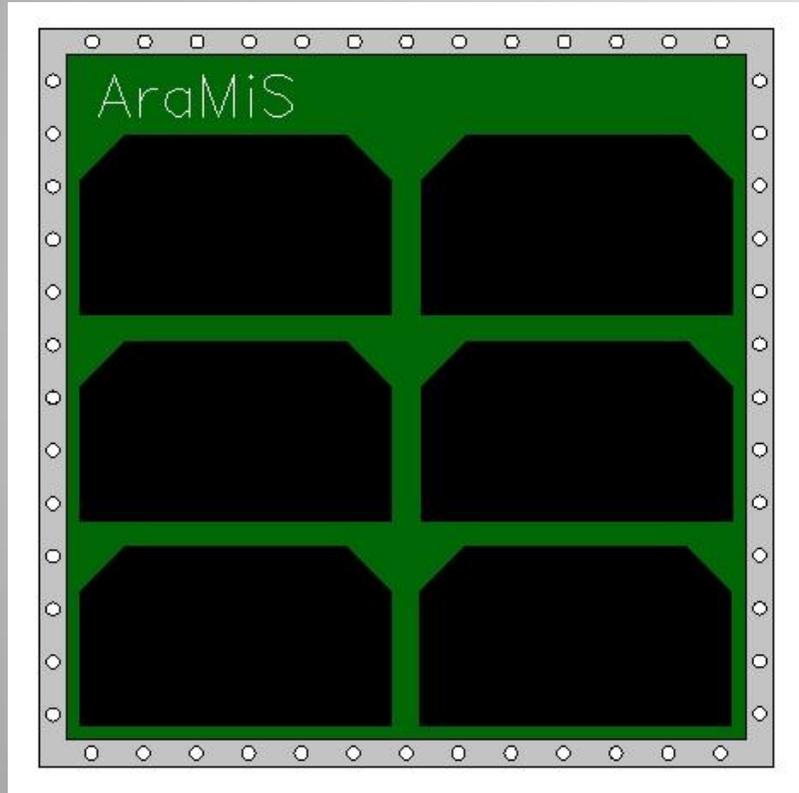
- **Modellizzazione** delle diverse configurazioni
- **Caratterizzazione** degli indici di **assorbanza ed emissività**



- **Misure termometriche**



# Descrizione Tile 1B8



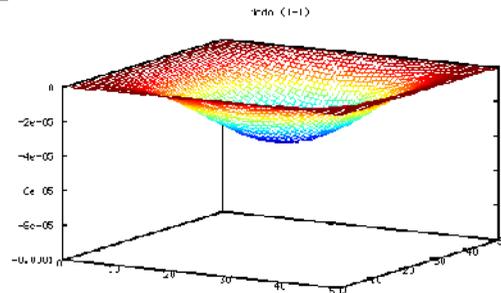
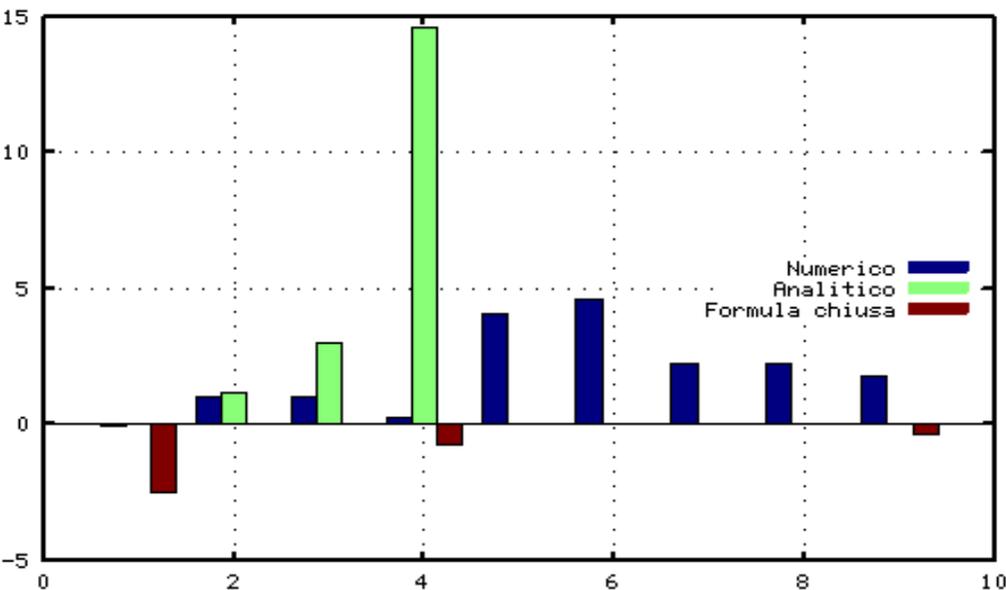
- **Piastra in alluminio** con **PCB** (Printed Board Circuit) incollati su entrambe le superfici (celle solari da un lato)
- **Dimensioni:** 165 x 165 (mm)
- **Prototipo** esistente per configurazione **CubeSat**

# Autovibrazioni della piastra

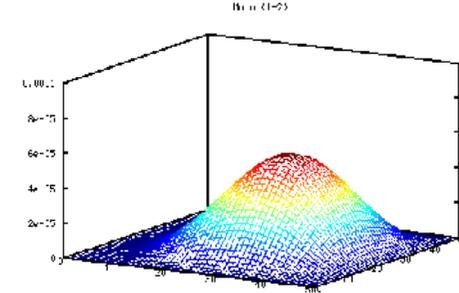
Tabella 5: Confronto pulsazioni tra metodo di Rayleigh-Ritz numerico e valori noti

(m-n)	LEISSA	RR Numerico	RR Frequenze [Hz]	Err %
(1-1)	35.998	35.986	519	0.03
(1-2)	73.405	74.168	1070	1
(2-2)	108.237	108.553	1566	0.3
(3-1)	131.902	138.014	1991	4.6
(3-2)	165.023	168.728	2434	2.2
(3-3)	220.06	224.013	3232	1.8

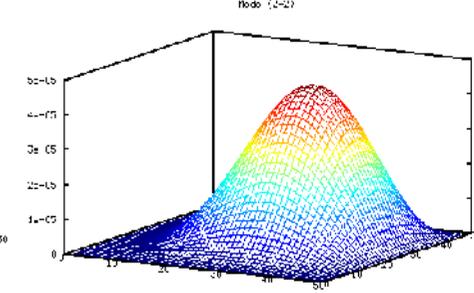
Errore relativo percentuale rispetto LEISSA



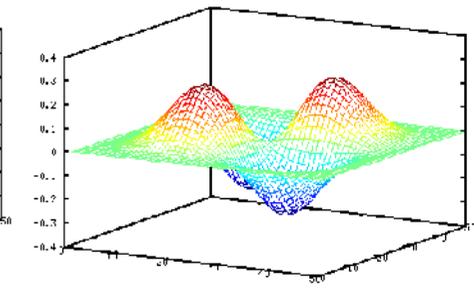
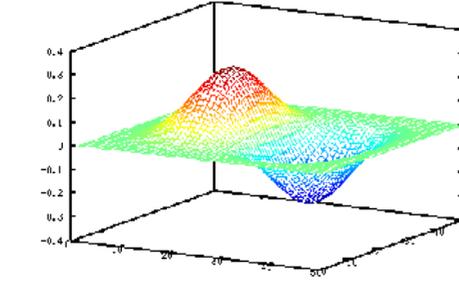
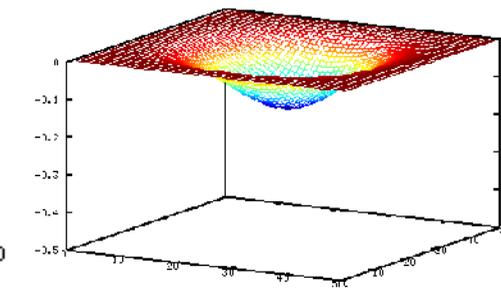
Modo (1-1)



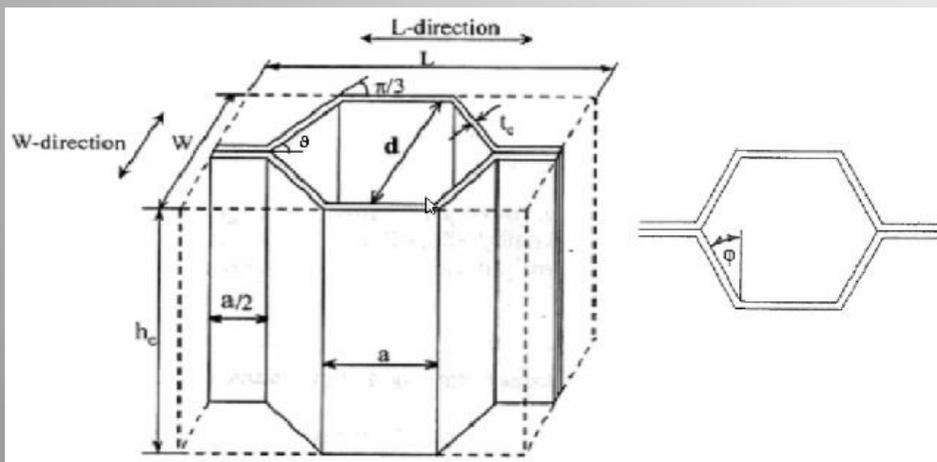
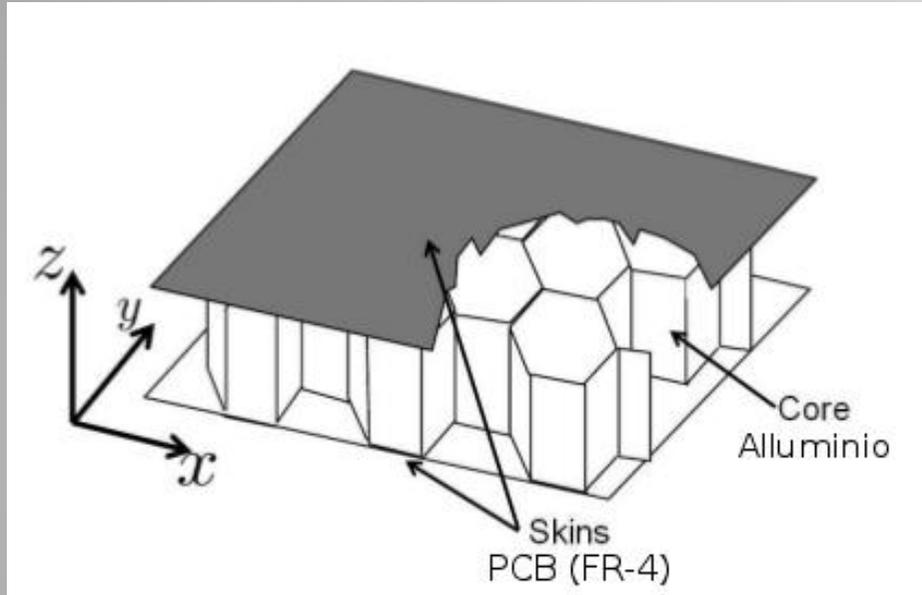
Modo (1-2)



Modo (2-2)



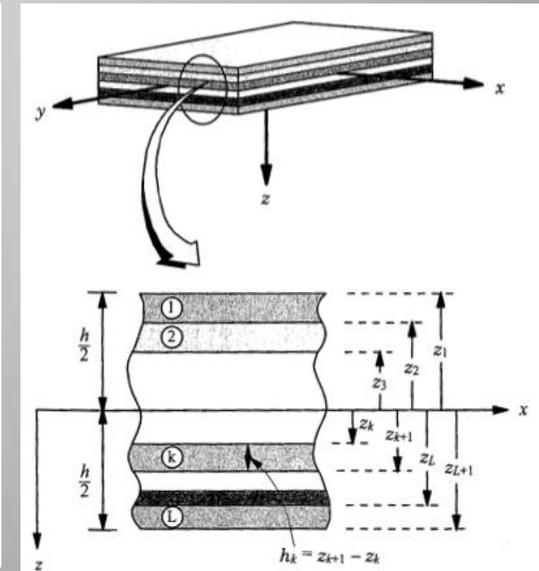
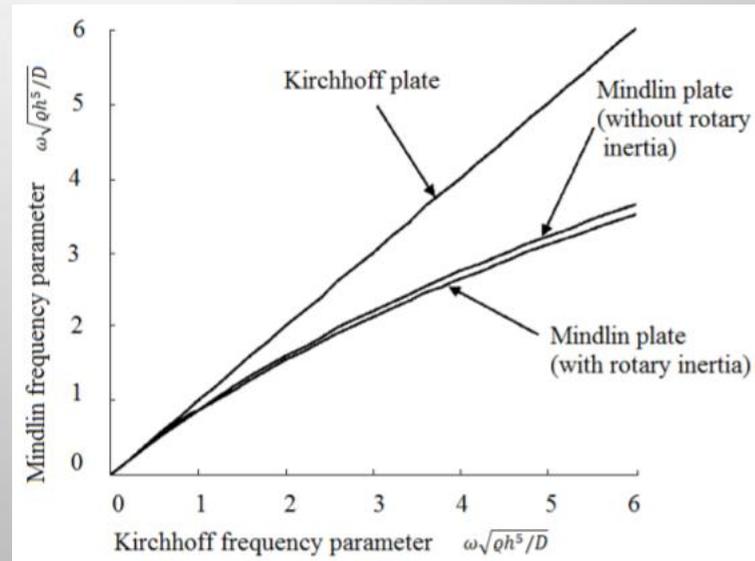
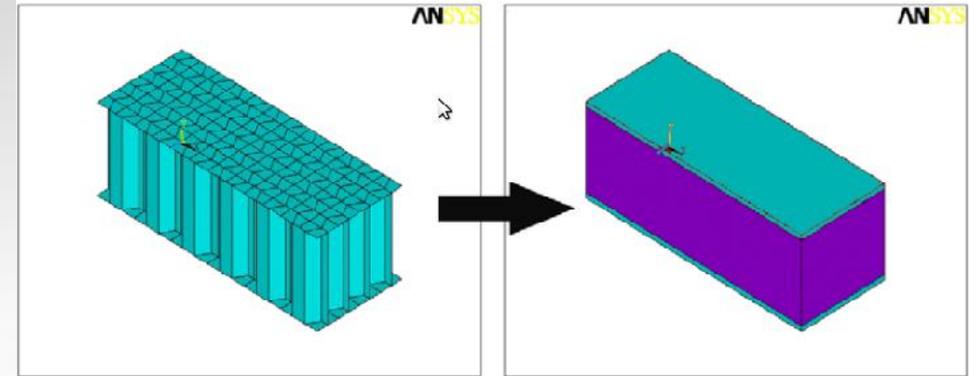
# Descrizione Sandwich



- **Facce** in **PCB** (Printed Board Circuit)
- **Core** in **Honeycomb** in **Alluminio**
- **Dimensioni:**  
165 x 330 (mm)
- **Dimensioni scheda prototipo:** 155 x 155 (mm)
- **Diametro** cella 10 mm
- **Spessore lamina core:** 0.1 mm

# Modellizzazione della configurazione sandwich

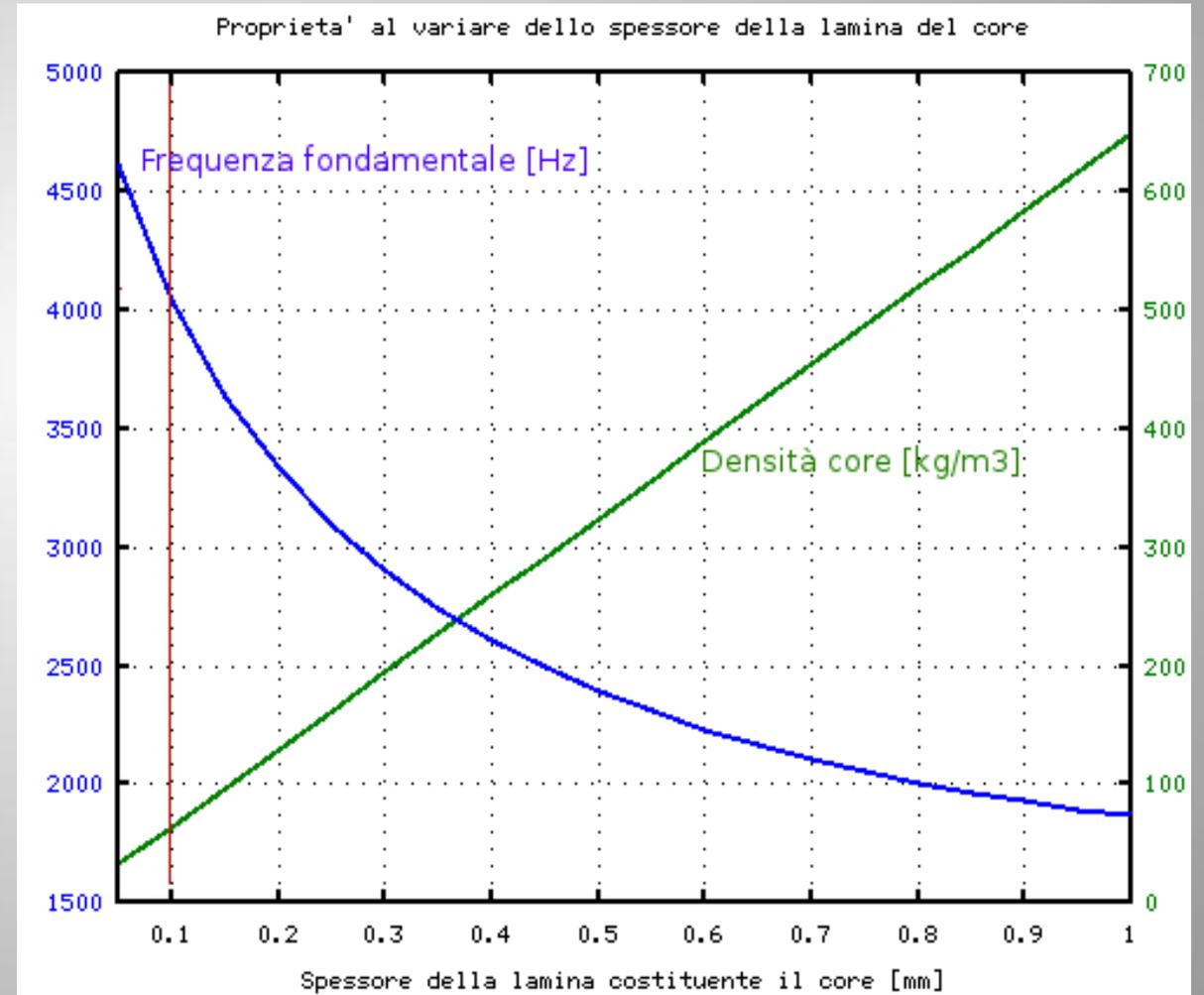
- Omogenizzazione del core
- Piastra laminata, composta da 3 strati (facce più core)
- Calcolo, correzione di **Reissner-Mindlin** e confronto con **ESDU 85037** del risultato
- Diversi prodotti **commerciali** a confronto



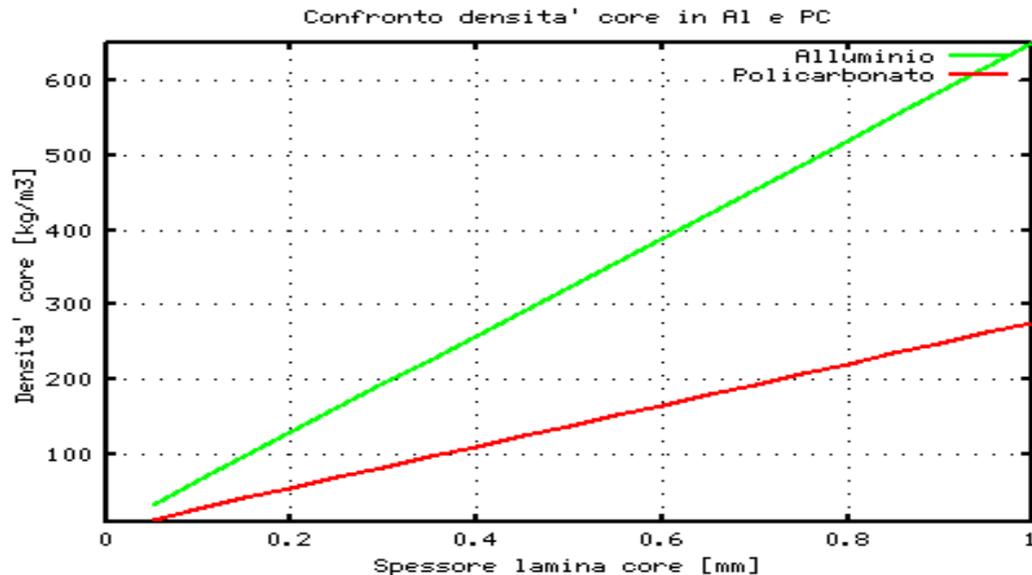
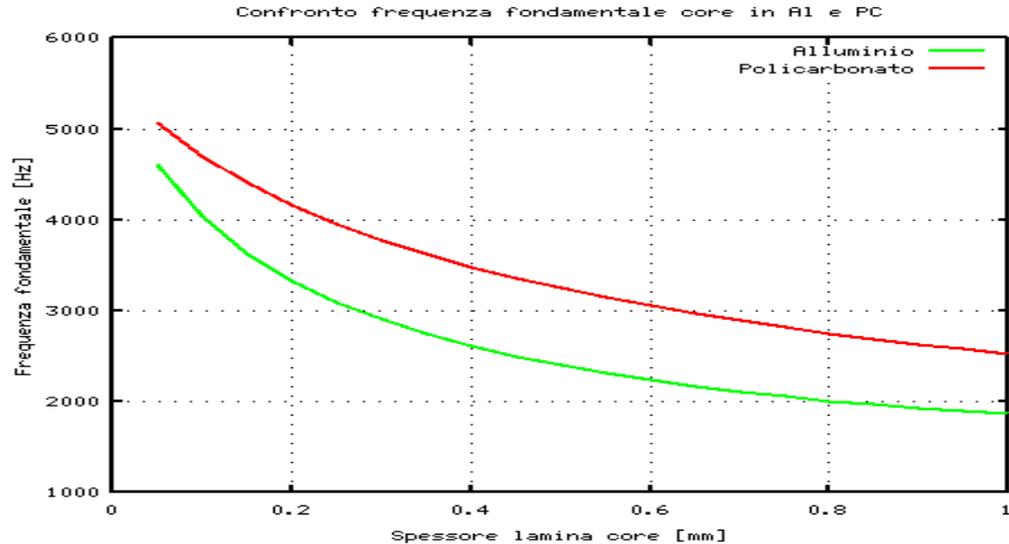
# Autovibrazioni della configurazione sandwich

Pulsazioni relative al sandwich quadrato	
(m-n)	Frequenza [Hz]
(1-1)	4035
(1-2)	7865
(2-2)	10972

Pulsazioni relative al sandwich rettangolare	
(m-n)	Frequenza [Hz]
(1-1)	2806
(1-2)	3594
(2-1)	5042
(2-2)	6999
(1-3)	7649
(3-1)	8772
(2-3)	12823
(3-2)	13348
(3-3)	14217



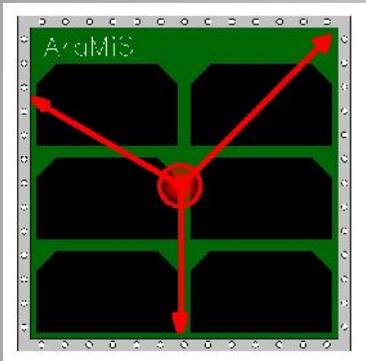
# Autovibrazioni della configurazione sandwich



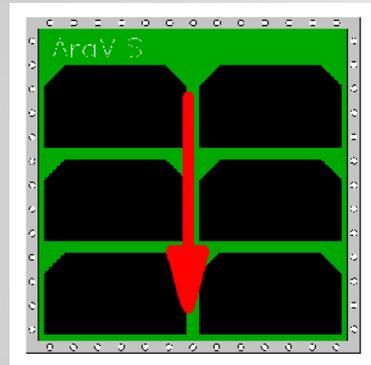
- Soluzione alternativa core in **Policarbonato**
- **Spessore lamina più che raddoppiato** ma **densità del core lievemente maggiore** a parità di frequenza **fondamentale** ( $64.89 \text{ kg/m}^3$  contro  $55.42 \text{ kg/m}^3$ )

# Resistenze termiche

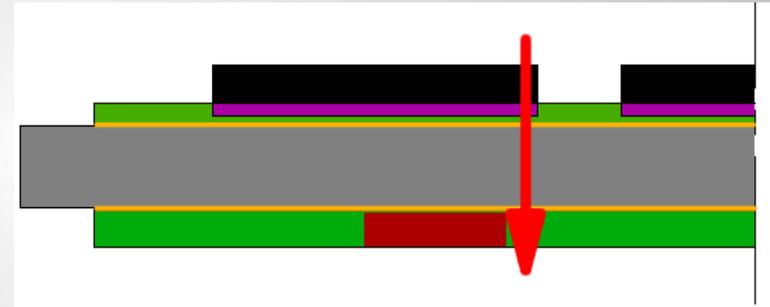
Suddividere la tile in parti di **conducibilità nota** e calcolarne la **resistenza equivalente**



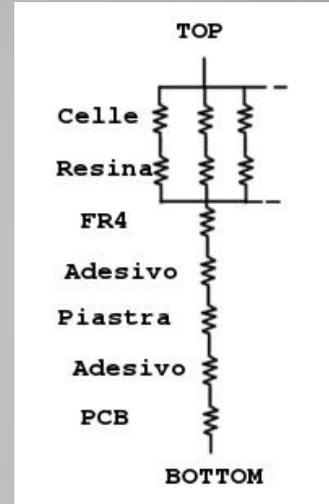
Tra centro e bordi



Tra due bordi paralleli



Tra faccia interna ed esterna

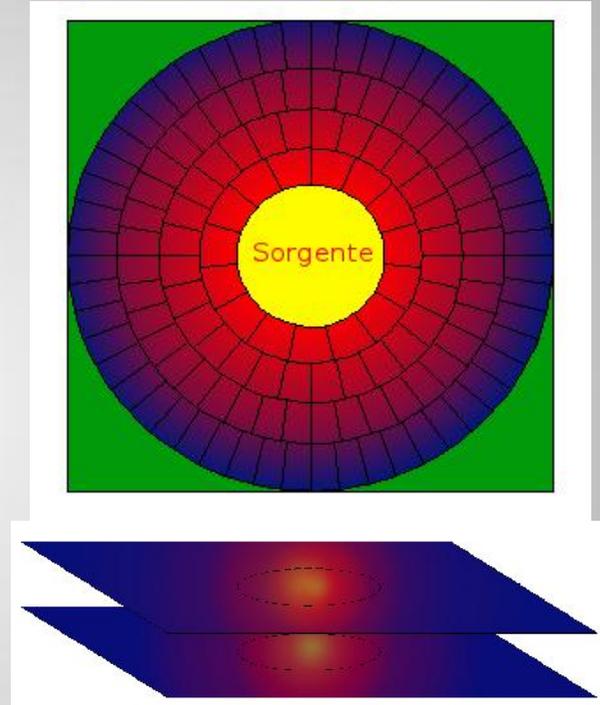


(Resistenze in [K/W])

	Tra centro e bordi	Tra due Bordi paralleli	Tra Faccia Interna ed Esterna
Tile in alluminio	0.593	2.34	$0.28 \cdot 10^{-3}$
Tile in alluminio completa di celle solari	0.433	2.33	<b>0.064</b>

# Modellizzazione termica del sandwich

- **Conducibilità effettiva**  
(conduzione + irraggiamento)  
**attraverso il core** e studio degli andamenti caratteristici in funzione della geometria
- **Approssimazione in coordinate polari nel piano medio**



	Tra centro e bordi	Tra due Bordi paralleli	Tra Faccia Interna ed Esterna
<b>Sandwich Honeycomb Core</b>	2.50	(9.84)	0.352

(Resistenze in [K/W])

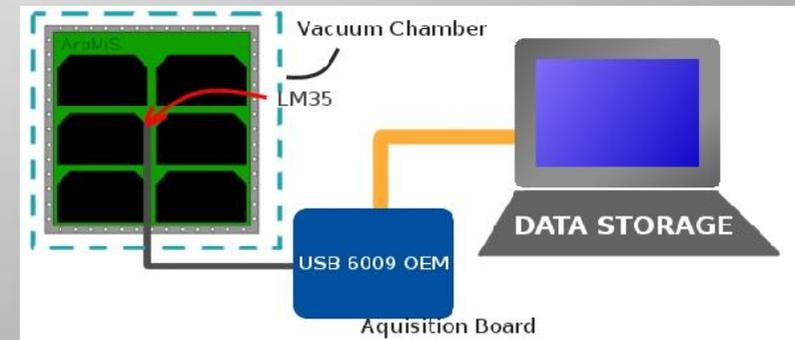
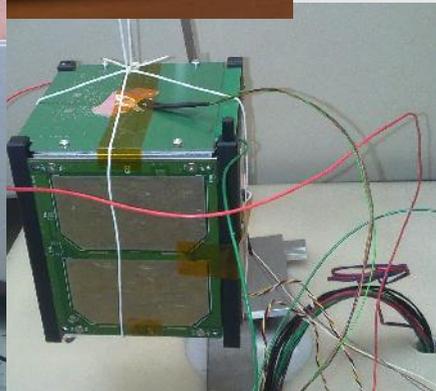
# Caratterizzazione degli indici di assorbanza ed emissività



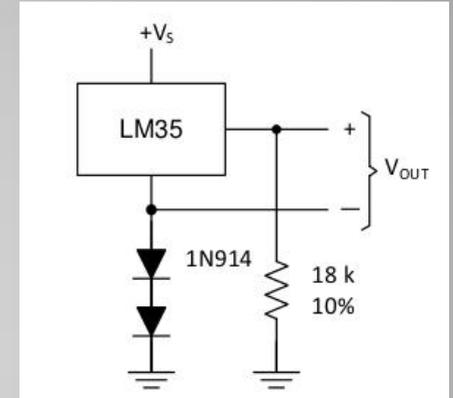
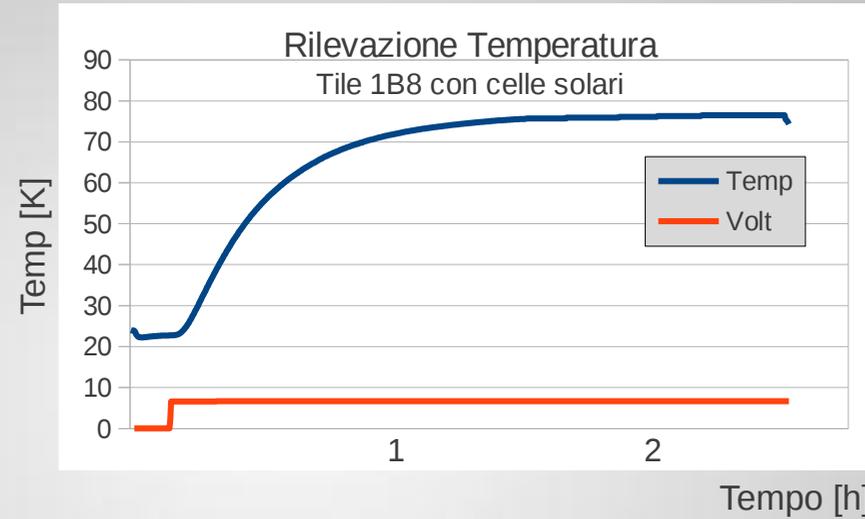
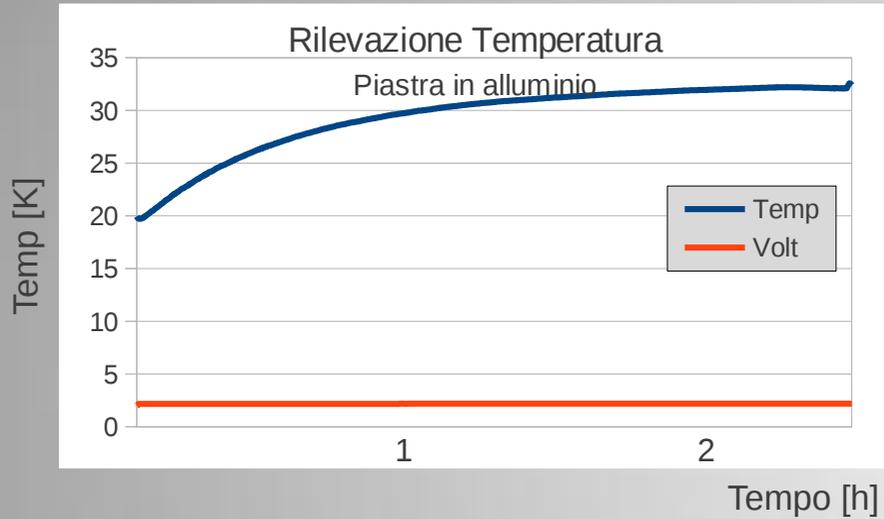
- Utilizzo del **simulatore solare** e confronto della **temperatura di equilibrio** raggiunta fornendo **potenza elettrica misurabile**

- Test in **aria libera** nello spettro solare medio (**assorbanza**)

- Test nel **vuoto** con linea di **acquisizione dati in infrarosso** (**emissività**)

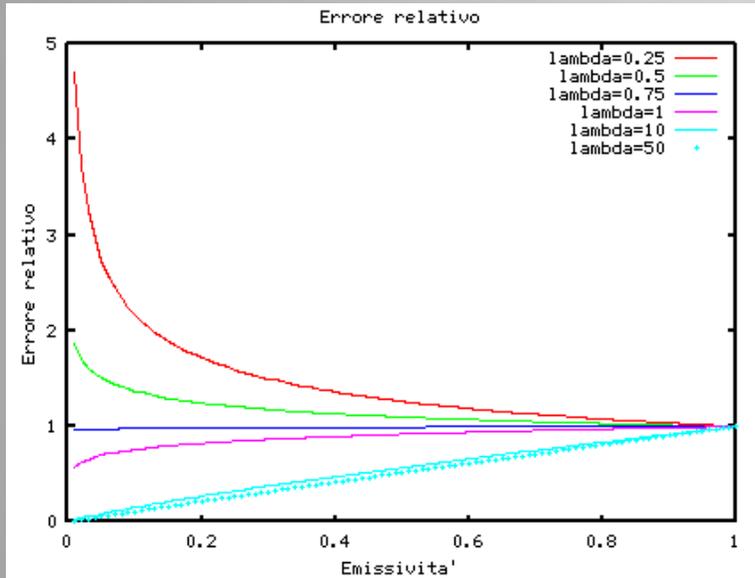


# Risultati degli esperimenti



Assorbanza/Emissività	Indice di assorbanza	Indice di emissività
Cubesat, senza celle solari	0.688	0.744
Cubesat, con celle solari	0.845	-
Piastra in Alluminio	0.1	0.065
Piastra in Alluminio con celle solari	0.778	0.706

# Differenziali di temperatura sandwich



Errore relativo sulla conducibilità effettiva in funzione dell'emissività del materiale costituente il core

(Resistenze in [K/W], Temperature in [K])

	Differenziale di temperatura	Configurazione minimo cubo		
Tile quadrata, pelli in alluminio	1.72	5.58		
Tile quadrata, pelli in FR-4	71.10	222.07		
Tile quadrata, pelli PCB	28.09	91.31		
Tile rettangolare, pelli in PCB	28.09	44.41	91.31	-

	Resistenza facce	Resistenza Totale	Diff. Temp	Minimo Cubo
Pelle PCB con strato in Cu	1.52	-	-	-
Pelle in FR-4 con strato in Cu	25.48	0.91	26.08	84.84

# Confronto dei risultati di Analisi Termica

(Temperature in [K])

Differenziali di temperatura	Rilevato	Teorizzato
Attraverso la piastra in alluminio	<1	$7 * 10^{-4}$
Tra il centro ed il bordo della piastra in alluminio	1.5	1.54
Attraverso la piastra sandwich	6	6.09
Attraverso la tile in alluminio con celle solari	8	1.83

## Possibile localizzazione di errori

- Differenza tra i valori teorici di conducibilità (FR-4 da  $0.81 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  a  $0.3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )
  - Aderenza delle superfici nelle tile di prototipazione

**Grazie per l'attenzione**