

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale:
Progettazione e sviluppo di una struttura di
supporto per il test a terra del meccanismo di
apertura dei pannelli solari di un CubeSat***

Tutor universitario: Prof. Alessandro Francesconi

Co-Tutor Estero: Ann-Christin Schäfers

Laureando: Corrado Barbaro Mat. 1147819

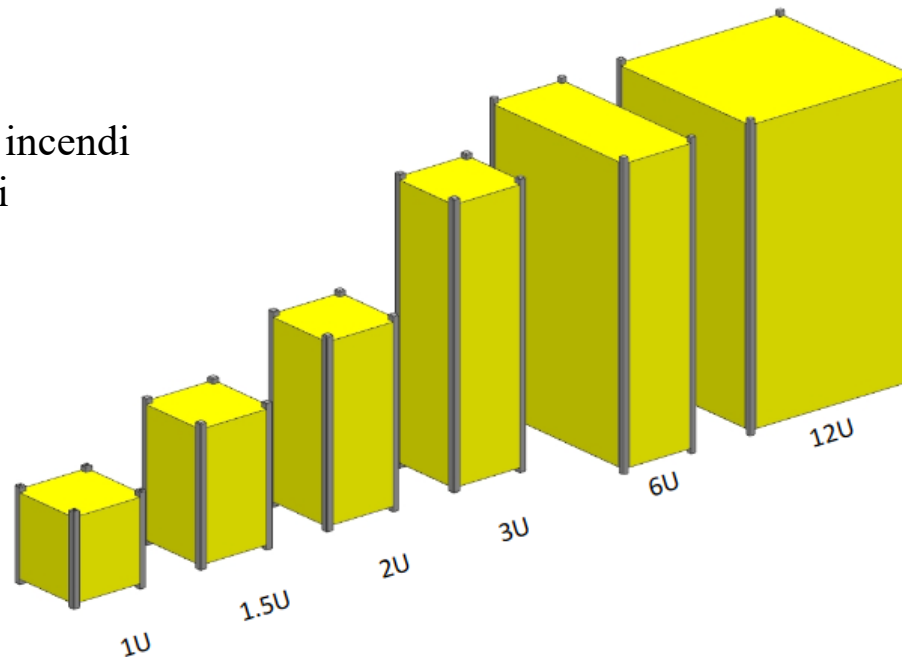
Padova, 20/03/2023

CubeSat

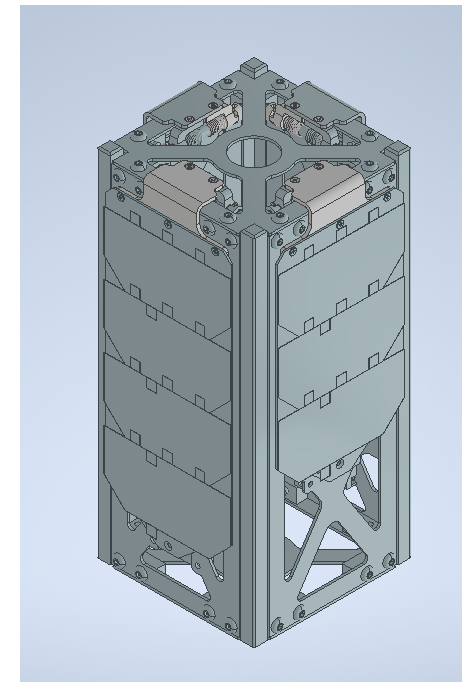
- Progetto nasce nel 1999
- Scopo:
 - riduzione di costi e dei tempi di sviluppo
 - aumento dell'accessibilità allo spazio
 - lanci frequenti
- Definizione CubeSat: classe di satelliti che adotta una dimensione e un fattore di forma standard, la cui unità di misura è definita "U".
Un CubeSat 1U è un cubo di 10 cm con una massa massima di 2 kg.

Caso di interesse: CubeSat SeeSat

- Dimensione: 2U
- Payload: sensore per poter monitorare gli incendi
- Sviluppo: associazione SeeSat e.V. e dagli studenti della DHBW di Ravensburg.
- Lancio: previsto per il 2027.



[CubeSat Design Specification Rev. 14.1]



Scopo e motivazione dello ZeroG device

Sviluppo di una struttura di supporto per il test a terra del meccanismo di apertura dei pannelli solari del SeeSat.

- Il meccanismo di apertura dei pannelli solari (SADM) è stato progettato e sviluppato da uno studente della DHBW.
- Necessità di testare il meccanismo attraverso una struttura di supporto a terra.
- Ricreare le condizioni di microgravità/assenza di gravità per il test del SADM.

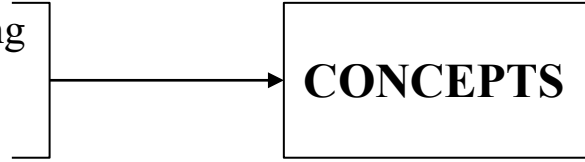


Stato dell'arte delle tecnologie per lo scarico del peso

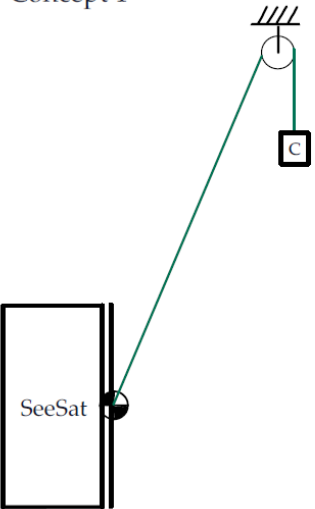
- Condizioni di gravità zero in laboratorio per testare il SADM di un CubeSat
- Compensazione gravitazionale
- Metodi per raggiungere lo scarico del peso:
 - Metodi di galleggiamento → forza di Archimede
 - Metodi di caduta libera → torri, volo parabolico, razzi
 - Metodi pneumatici → forza di sospensione
 - Metodi meccanici

Metodi Meccanici

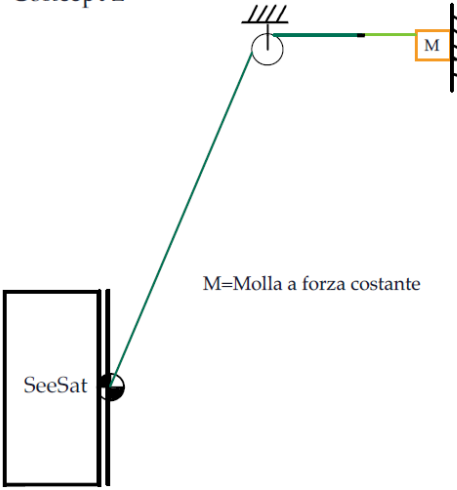
- Possibilità multiple per raggiungere l'offloading
- Componenti sia attivi che passivi
- Vari livelli di complessità



Concept 1

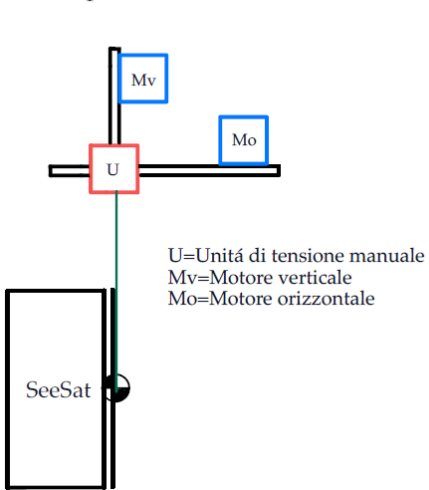


Concept 2



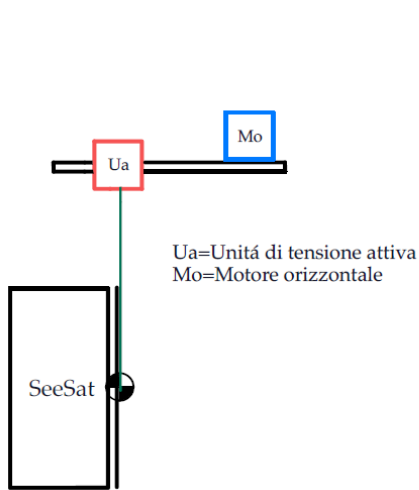
M=Molla a forza costante

Concept 3



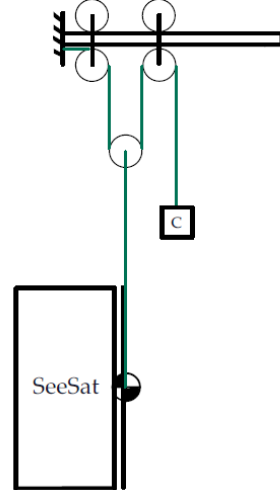
U=Unità di tensione manuale
Mv=Motore verticale
Mo=Motore orizzontale

Concept 4

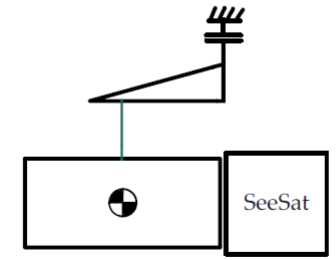


Ua=Unità di tensione attiva
Mo=Motore orizzontale

Concept 5



Concept 6



Per la scelta neutrale sul concept da sviluppare sono state valutate le seguenti tabelle:

Tabella dei costi: Visione neutrale del costo

- Stima non monetaria
- Stima numerica delle componenti + peso sul budget

TABELLA DEI COSTI							
FATTORI DI PESO	INPUT	CONCEPT					
		1	2	3	4	5	6
2	STRUTTURA	1	1	1	1	1	1
3	MOTORI(SERVO/STEPPER)	0	0	2	1	0	0
1,5	SENSORI STIMATI	2	2	3	3	2	2
0,5	PULEGGE	1	1	0	0	3	2
0,5	CONTRAPPESI	1	0	0	0	0	1
2	ALTRI ELEMENTI ATTIVI	0	0	0	1	0	0
1	ALTRI ELEMENTI PASSIVI	1	2	4	1	1	1
1,5	MOLLE A F/M COSTANTE	0	1	0	0	1	0
	1 PANNELLO	7	9	16,5	12,5	9	7,5
	2 PANNELLI	14	18	33	25	18	15
	4 PANNELLI	28	36	66	50	36	
Valori per la tabella principale		5	4	1	2	4	4

Tabella principale

- Scelta ponderata del concept da sviluppare
- Punteggi da 1 a 5, con 5 miglior punteggio

TABELLA PRINCIPALE							
PARAMETRI	CONCEPT						FATTORI DI PESO
	1	2	3	4	5	6	
COSTO	5	4	1	2	4	4	3
PROCESSI DI CALCOLO	5	5	1	2	3	5	0,5
ATTRITO	4	4	3	3	3	3	1
SEMPLICITA'	5	4	2	2	4	5	1,5
PRECISIONE	2	2	3	4	4	4	1,5
MANUTENZIONE	5	4	3	3	4	4	1
EXTRA SET UP	5	4	2	2	3	3	0,5
TEST SIMULTANEO	5	5	5	5	5	0	0,5

Risultati

Il concept 1 totalizza più punti e quindi sarà quello sviluppato

RISULTATI	C1	C2	C3	C4	C5	C6
NON MEDIATI CON IL PESO	36	32	20	23	30	28
MEDIATI CON IL PESO	42	36	20,5	25,5	36,5	36,5

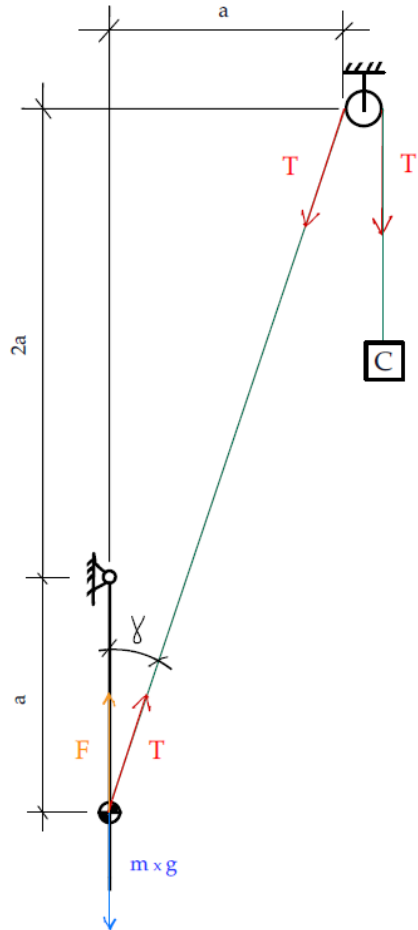
Basi di partenza

- Uso di un contrappeso
- Carrucola fissa → comportamento ideale
- No elementi elettro/pneumatici

Parametrizzazione:

Distanza asse di rotazione – baricentro
→ **Parametro ‘a’**

Posizione carrucola
funzione solo di *a*



dato noto: $m \cdot g$

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{\text{cat. opposto}}{\text{cat. adiacente}} \right)$$

$$F = m \cdot g$$

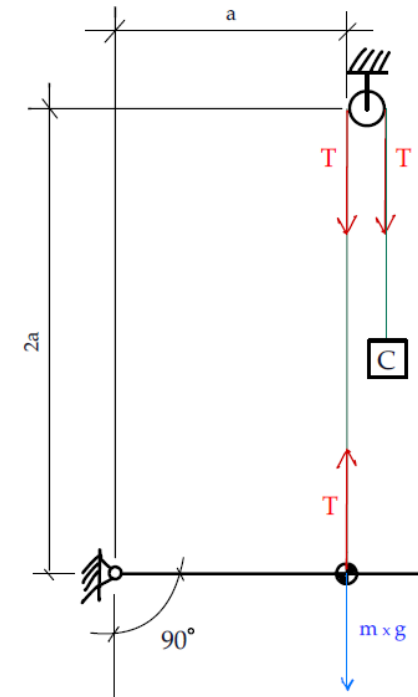
$$F = T \cdot \cos \gamma \rightarrow T = \frac{F}{\cos \gamma}$$

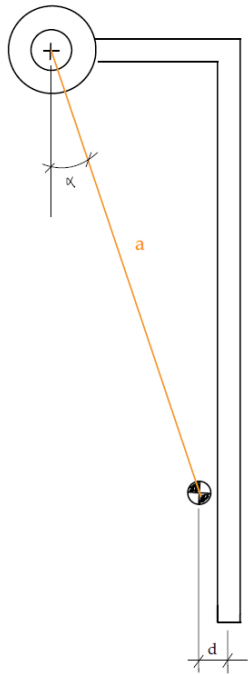
$$\text{massa contappeso } m_c = \frac{T}{g}$$

Validità del modello

Forza extra offloading *E* piccola nel caso peggiore

worst case → $\gamma = 0$
 $E = |m \cdot g - T|$





- Geometria pannello
- Baricentro → posizione
- Asse di rotazione spostato

Dati noti

Parametro ' α '

Influisce solo nel calcolo di γ , la parametrizzazione con a rimane valida

se $\alpha = 0$

cat.opposto = a

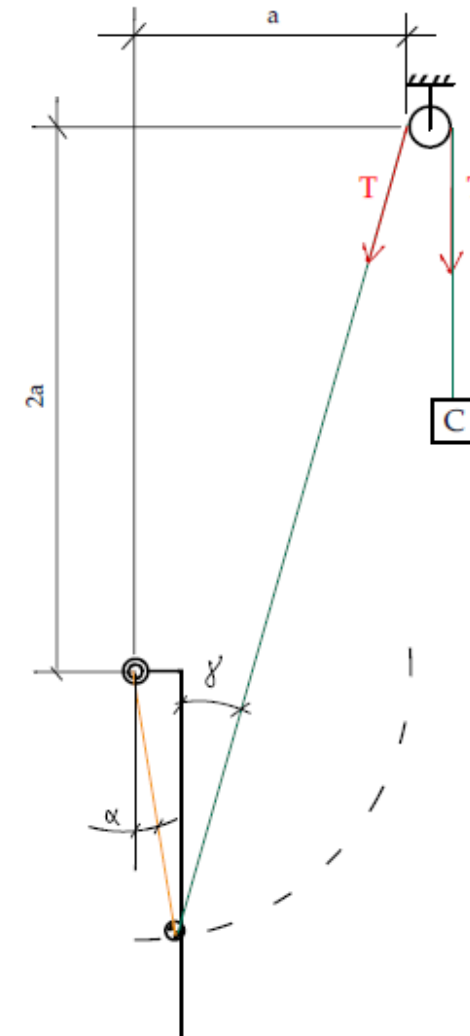
cat.adiacente = $3a$

se $\alpha \neq 0$

cat.opposto = $a - a \sin \alpha$

cat.adiacente = $2a + a \cos \alpha$

Le altre equazioni trovate per l'approccio semplificato valgono anche per il reale



Pannello maggiore

Dati:

- $a = 69.322 \text{ mm}$
- $\alpha = 15.25^\circ$
- $m = 0.049 \text{ kg}$
- $g = 9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Equazioni del modello ricavate:

- $\text{cat. opposto} = C_1 = a - a \sin \alpha = 51.088 \text{ mm}$
- $\text{cat. adiacente} = C_2 = 2a + a \cos \alpha = 205.524 \text{ mm}$
- $\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{C_1}{C_2} \right) = 13.95^\circ$
- $F = m \cdot g = 0.48049 \text{ N}$
- $T = \frac{F}{\cos \gamma} = 0.49509 \text{ N}$
- $m_c = \frac{T}{g} = 0.05048 \text{ kg}$
- $\text{worst case: } E = |m \cdot g - T| = 0.0146 \text{ N}$
- $E \approx 3.03\% \text{ di } m \cdot g$

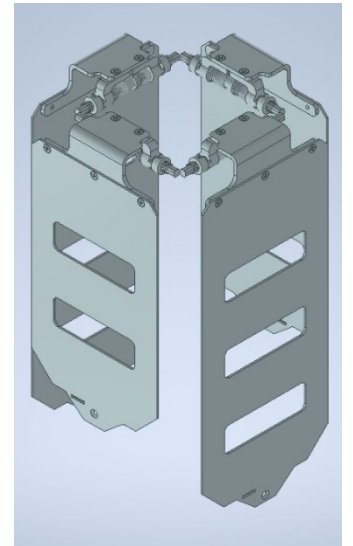
Pannello minore

Dati:

- $a = 51.571 \text{ mm}$
- $\alpha = 20.17^\circ$
- $m = 0.04 \text{ kg}$
- $g = 9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Equazioni del modello ricavate:

- $\text{cat. opposto} = C_1 = a - a \sin \alpha = 33.848 \text{ mm}$
- $\text{cat. adiacente} = C_2 = 2a + a \cos \alpha = 151.55 \text{ mm}$
- $\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{C_1}{C_2} \right) = 12.57^\circ$
- $F = m \cdot g = 0.39224 \text{ N}$
- $T = \frac{F}{\cos \gamma} = 0.40187 \text{ N}$
- $m_c = \frac{T}{g} = 0.04098 \text{ kg}$
- $\text{worst case: } E = |m \cdot g - T| = 9.36 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
- $E \approx 2.45\% \text{ di } m \cdot g$

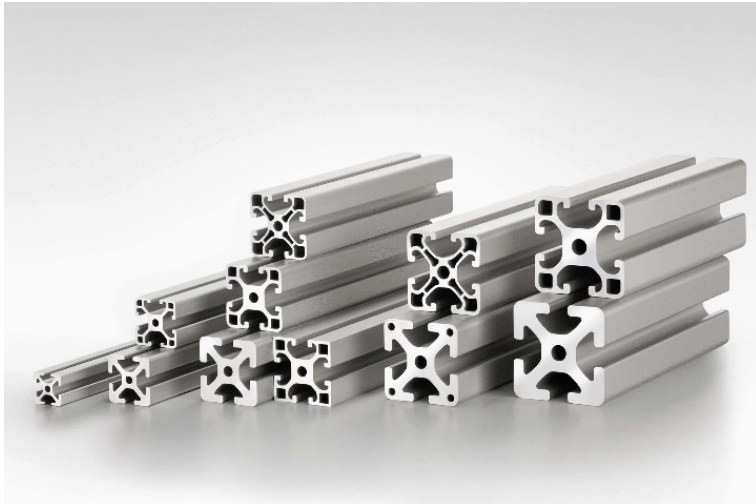


Vincoli per lo ZeroG device

- Struttura modulare
- Semplice
- Adattabile fino a 2U



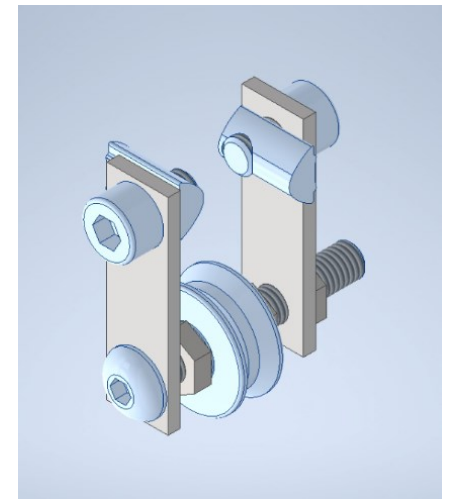
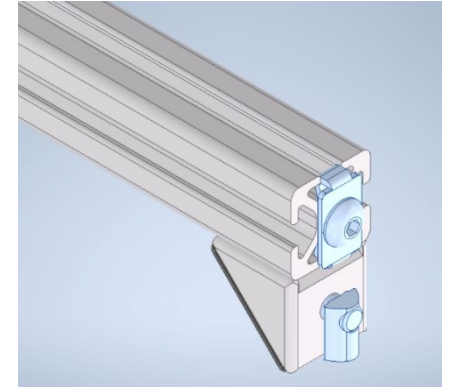
Profili in alluminio modulari
(dimensione 20x20x600mm)



[www.item24.com]

Computer Aided Design

- Software Inventor



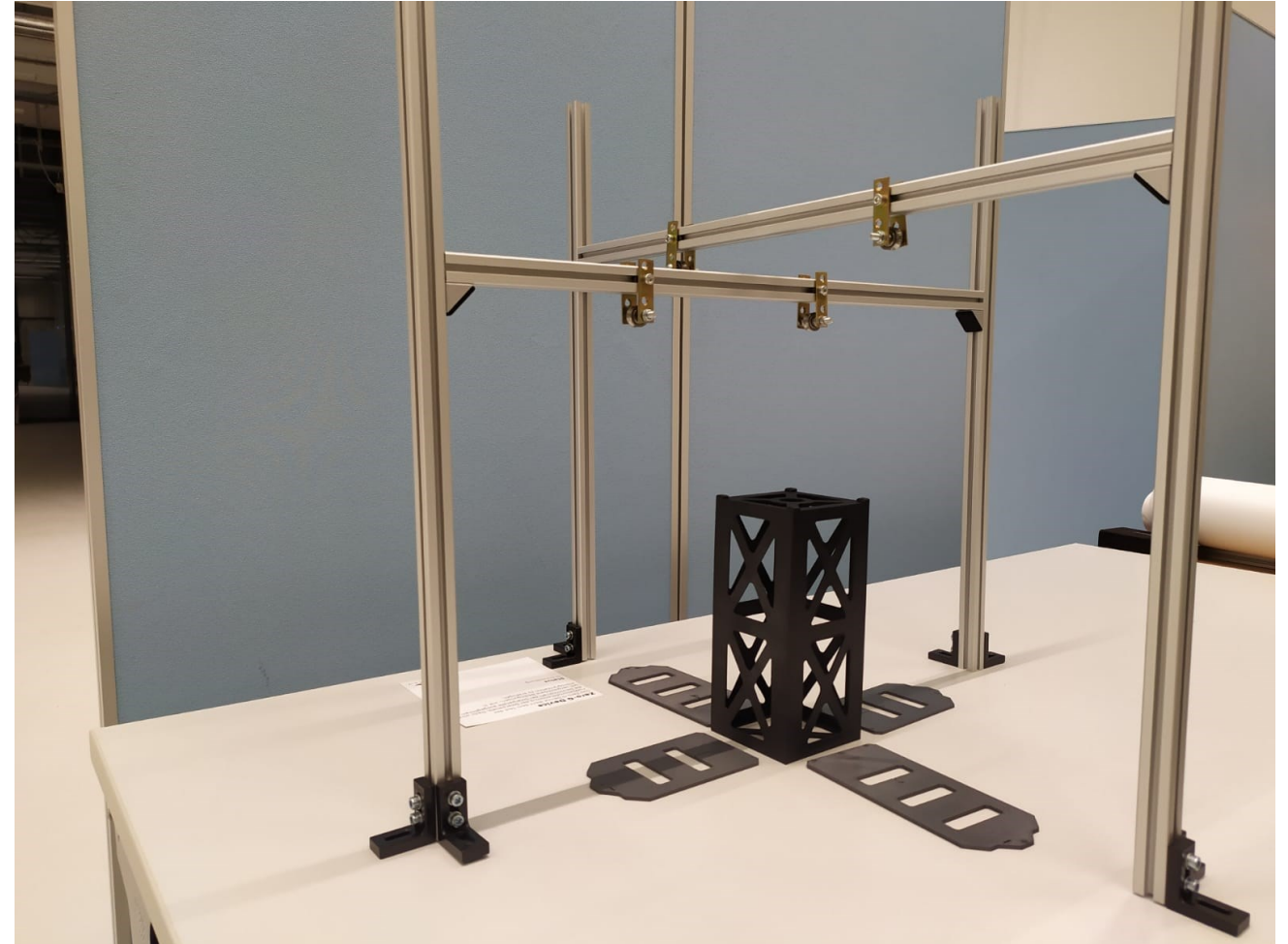
Lo ZeroG device si sposa perfettamente con la filosofia dei satelliti CubeSat → semplice, modulare, economico

Test non ancora effettuato

- SADM non ancora realizzato
- Cavo e contrappesi ancora da reperire

Possibili sviluppi

- Test di CubeSat con dimensioni maggiori di 2U
- Integrazione di sensori



- <https://www.cubesat.org/>, CubeSat Design Specification Rev. 14.1
- <https://seesat.eu/de/vom-see-ins-all/>
- www.nasa.gov
- www.esa.int
- Leipold Manfred, Michael Eiden, Charles E. Garner, Lars Herbeck, David B Kassing, T. Niederstadt, Thorsten Krüger, G. Pagel, M. Rezazad, H. Rozemeijer, Wolfgang Seboldt, Carsten Dipl.-Ing. Schöppinger, Christoph Sickinger and Wilm Felix Unckenbold. “Solar sail technology development and demonstration.” *Acta Astronautica* 52 (2003): 317-326.
- <https://www.zarm.uni-bremen.de/de/texus-experiment.html>
- https://www.dlr.de/rb/en/PortalData/38/Resources/dokumente/leistungen/DLR_RB_Portfolio_MorABA-Sounding-Rocket-Flight-Experiments.pdf
- Penn, Jonathan, Chris W. Johnson, Jesse Lewis, Trevin Dear and Alphonso Stewart. “GPM Solar Array Gravity Negated Deployment Testing.” (2014).
- <https://sci.esa.int/web/rosetta/-/33130-solar-panel-test>