

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

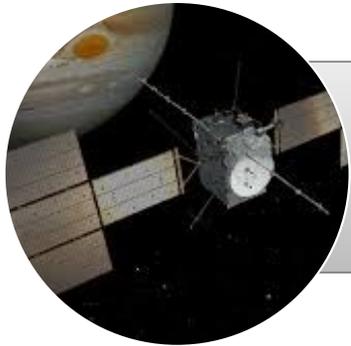
## ***Relazione per la prova finale***

# ***ANALISI ORBITALE DELLA SONDA JUICE: CONFRONTO TRA DATI REALI E SIMULAZIONE GMAT***

Tutor universitario: **Prof. Giacomo Colombatti**

Laureando: **Erik Ronconi**

Padova, 10/09/2024



## 1. La missione JUICE



## 3. GMAT: simulazione traiettoria

## 2. Traiettoria e Flyby Terra-Luna



## 4. Traiettoria reale vs. traiettoria semplificata





## *Introduzione alla missione*

- **Nome missione:** JUICE (JUperiter ICy moons Explorer)
- **Agenzia spaziale:** Agenzia Spaziale Europea (ESA)

## *Obiettivi missione*

- **Studio delle lune:** mappatura e studio della superficie, studio del campo magnetico e abitabilità di Ganimede, Europa e Callisto
- **Studio del sistema gioviano:** caratterizzazione atmosfera, ambiente magnetico, sistema degli anelli e altri satelliti

## *Timeline*

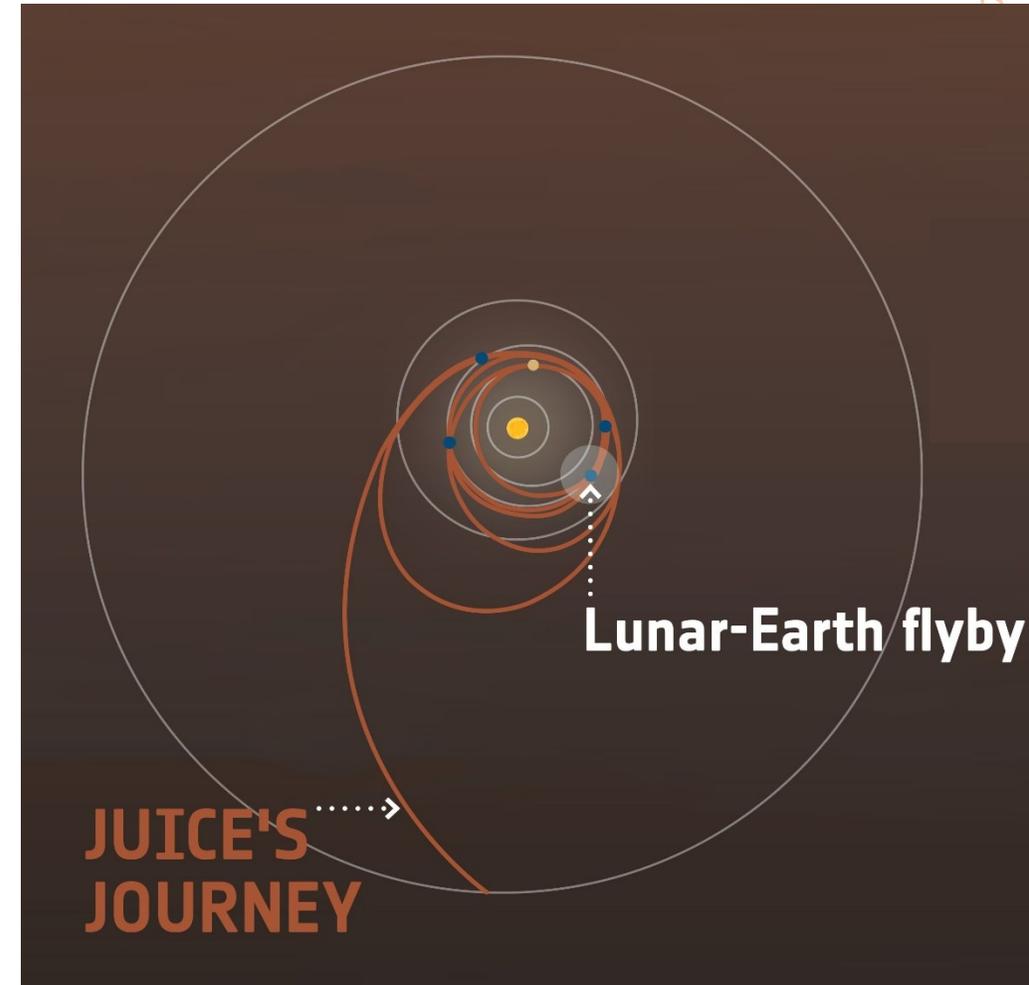
- **Lancio:** 14 aprile 2023
- **Arrivo su Giove:** 2031
- **Durata missione:** 4 anni circa (2031-2035)

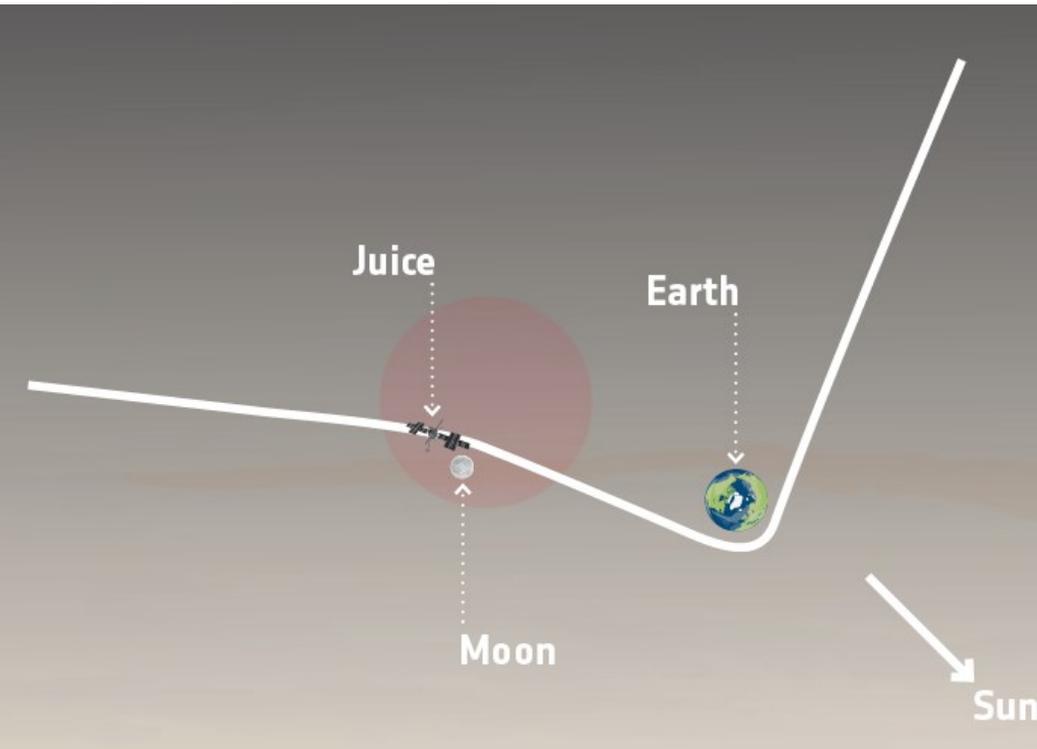
### *Panoramica traiettoria*

- **Punto di partenza:** Kourou, Guyana Francese
- **Percorso verso Giove:**
  - **Flyby Terra-Luna:** Agosto 2024
  - **Flyby Venere:** Agosto 2025
  - **Flyby Terra:** Settembre 2026
  - **Secondo flyby Terra:** Gennaio 2029
- **Arrivo su Giove:** previsto nel 2031

### *Obiettivi traiettoria*

- **Ottimizzazione carburante:** si sfruttano vari flyby
- **Posizionamento strategico**





### Dettagli flyby

- **Doppio primato:**
  - Primo flyby Terra-Luna
  - Prima manovra in doppio assist gravitazionale
- **Obiettivi Principali:**
  - Modificare velocità e direzione della traiettoria
  - Indirizzare la sonda verso Venere

### Perché è necessario?

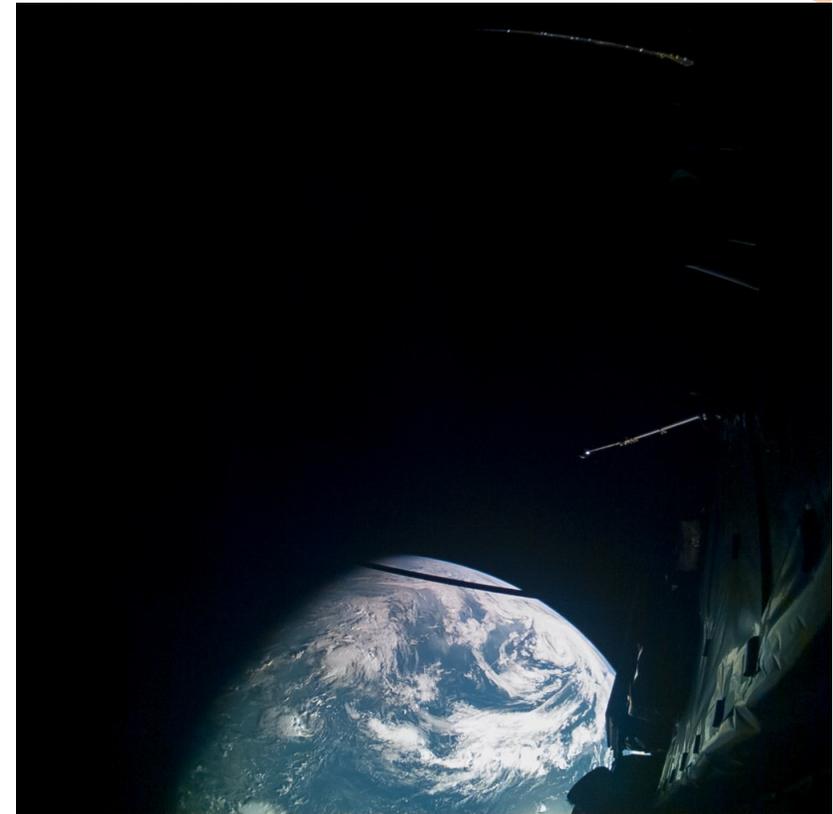
- **Grandi distanze:**
  - Giove dista circa 800 milioni di km dalla Terra
  - Un viaggio diretto richiederebbe 60.000 kg di propellente

### *Strategia controintuitiva*

- **Breaking maneuver:**
  - Il flyby Terra-Luna è usato per rallentare la sonda
  - Si usa una scorciatoia verso Giove passante per Venere
  - Manovra più efficiente rispetto all'accelerazione verso Marte

### *Aspetti numerici*

- **Luna:**
  - Momento di maggior vicinanza 19 Agosto ore 23:15
  - Minima distanza dalla superficie di 750 km
  - Aumento di velocità di 0.9 km/s rispetto al Sole
- **Terra:**
  - Momento di maggior vicinanza 20 Agosto ore 23:56
  - Minima distanza dalla superficie di 6840 km
  - Diminuzione di velocità di 4.8 km/s rispetto al Sole

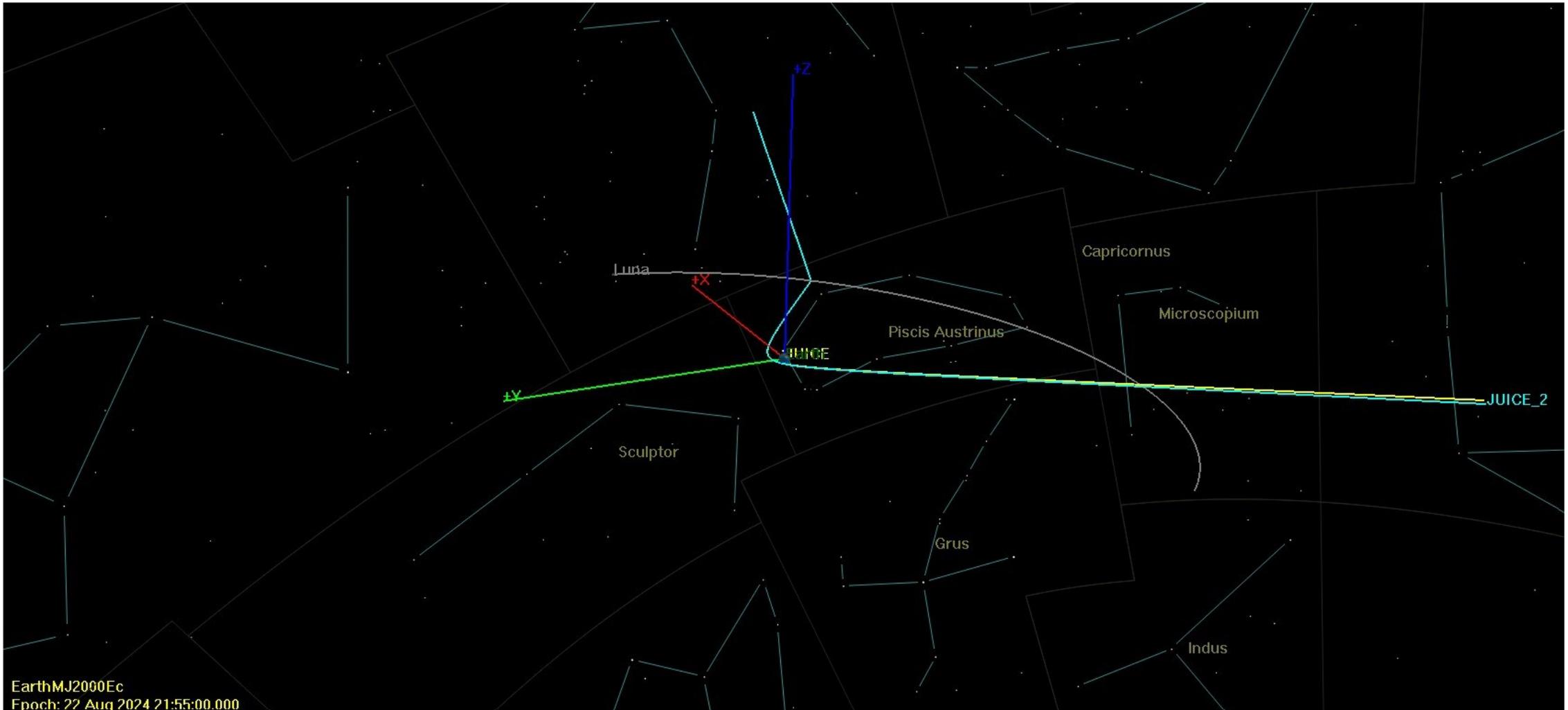


### *Procedimento del tracciamento orbite*

- **Orbita reale**
  - Acquisizione file SPICE
  - Inserimento file in GMAT
  - Configurazione propagatore
  - Esecuzione simulazione
- **Orbita simulata**
  - Estrazione dati posizione-velocità iniziali dell'orbita reale
  - Configurazione propagatore
  - Esecuzione simulazione

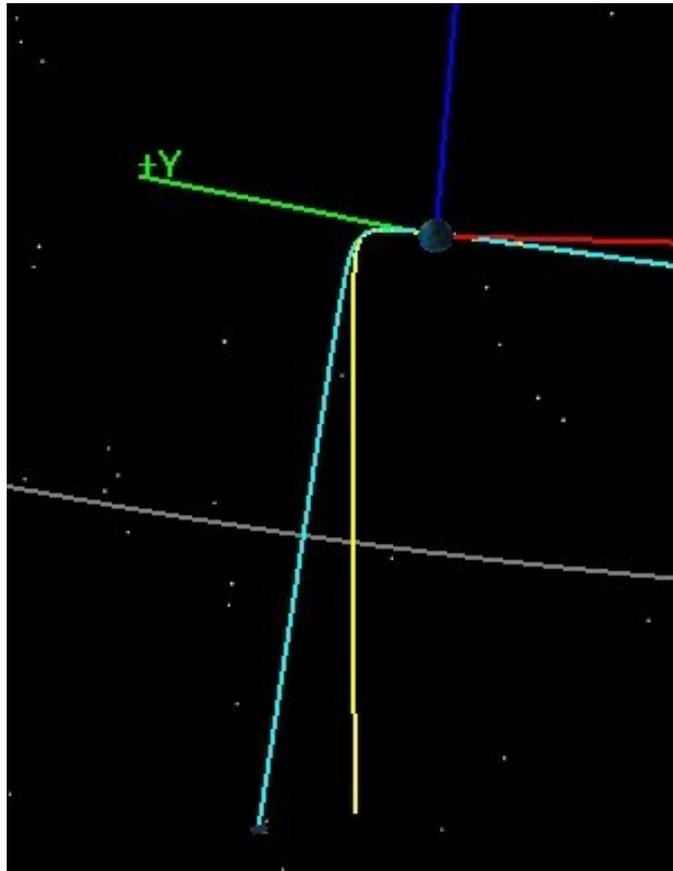
### *Obiettivi simulazione*

- **Confronto delle traiettorie**
- **Possibili cause delle discrepanze**



www.dii.unipd.it

Legenda:  *traiettoria reale*  
 *traiettoria semplificata*



*Principali differenze misurate il 22 Agosto 2024 ore 21:55:00*

- **Posizione finale [km]**

Sonda	X	Y	Z
Reale	-377433.5	-501036.6	-196441.9
Simulato	-381706.8	-497243.9	-196352.9

- **Velocità finale [km/s]**

Sonda	VX	VY	VZ
Reale	-1.859126	-2.732814	-1.085261
Simulato	-1.883076	-2.716601	-1.086449

### *Possibili cause delle differenze*

- **Assenza di forze perturbative:** pressione della radiazione solare e outgassing
- **Modello gravitazionale della Terra:** modello usato JMG-2
- **Modello gravitazionale della Luna:** modello usato LP-165
- **Precisione e sensibilità del propagatore**
- **Semplificazione delle interazioni multiple**



## *Scopo del flyby Terra-Luna*

- **Scorciatoia verso Giove**
- **Grande risparmio di carburante (100-150 kg)**

## *Confronto orbita reale e semplificata*

- **Differenza nelle traiettorie:**
  - Divergenza nelle orbite dopo il flyby con la Terra
  - La sonda non si dirige verso Venere
- **Cause delle differenze:**
  - Semplificazione dei modelli usati
  - Errori e tolleranze usati nei calcoli del propagatore

1. European Space Agency (ESA). (2024, August 21). *JUICE flyby Luna-Terra*. Retrieved from <https://www.media.inaf.it/2024/08/21/juice-flyby-luna-terra/>
2. European Space Agency (ESA). (2024, August 1). *JUICE's lunar-Earth flyby: All you need to know*. Retrieved from [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Juice/Juice s lunar-Earth flyby all you need to know](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice/Juice_s_lunar-Earth_flyby_all_you_need_to_know)
3. European Space Agency (ESA). (2024, August 1). *JUICE rerouted to Venus in world's first lunar-Earth flyby*. Retrieved from [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Juice/Juice rerouted to Venus in world s fir st lunar-Earth flyby](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice/Juice_rerouted_to_Venus_in_world_s_fir st_lunar-Earth_flyby)
4. European Space Agency (ESA). *Preparing for JUICE's daring double flyby*. Retrieved from [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Operations/Preparing\\_for\\_Juice\\_s\\_daring\\_double\\_flyby](https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Preparing_for_Juice_s_daring_double_flyby)
5. European Space Agency (ESA). *SPICE for JUICE*. Retrieved from <https://www.cosmos.esa.int/web/spice/spice-for-juice>
6. European Space Agency (ESA). *JUICE kernel mk*. Retrieved from [https://spiftp.esac.esa.int/data/SPICE/JUICE/kernels/mk/juice crema 5 1 150lb 23 1 a3.tm](https://spiftp.esac.esa.int/data/SPICE/JUICE/kernels/mk/juice_crema_5_1_150lb_23_1_a3.tm)
7. European Space Agency (ESA). *JUICE*. Retrieved from [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Juice](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice)