

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

## **Relazione per la prova finale**

***« Il trasferimento interplanetario della missione JUICE:  
simulazioni e confronto di  $\Delta V$  con dati di missione »***

Tutor universitario: *Prof. Colombatti Giacomo*

Laureando: *Ramogida Andrea*

Padova, 21/09/2023

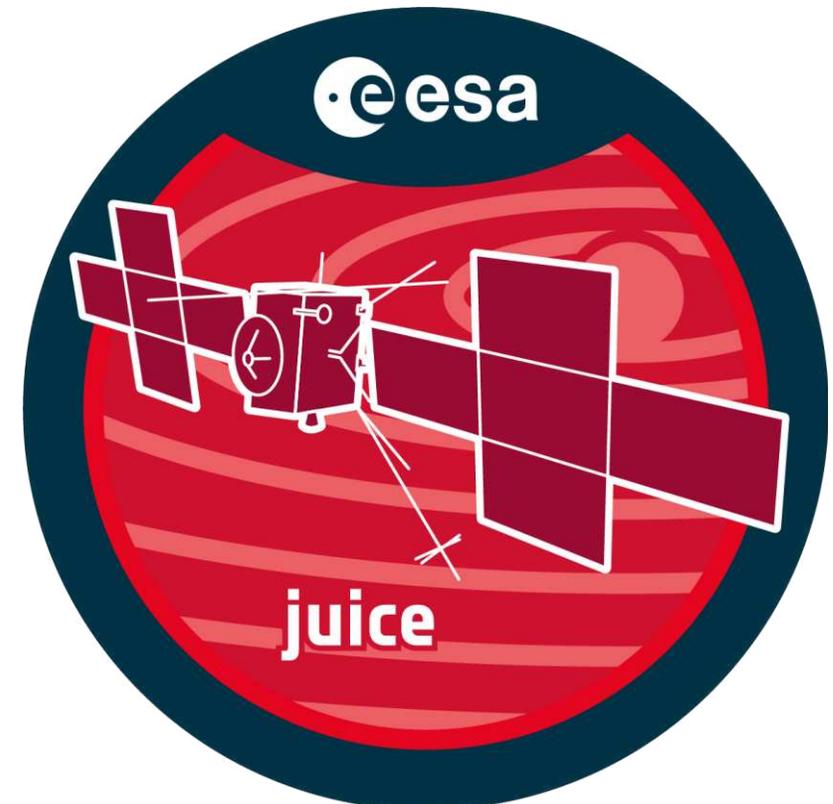
*La conoscenza del Sistema Solare risulta essere uno step importante per ricostruire le fasi di formazione dei corpi che lo compongono, della loro disposizione, dei processi chimici alla base delle loro strutture ed il perché di una grande differenziazione tra questi. Risultano quindi fondamentali le varie missioni spaziali planetarie le quali hanno l'obiettivo di "catturare" il maggior numero di informazioni possibili ai fini dello studio dei pianeti e delle loro origini.*



*JUICE (Jupiter Icy Moon Explorer) è una missione dell' Agenzia Spaziale Europea, selezionata dallo Space Programme Committee dell'ESA, e la prima missione su vasta scala nell'ambito del programma di esplorazione planetaria Cosmic Vision 2015-2025, partita il 14 aprile 2023. Gli obiettivi di tale missione sono Giove ed i suoi satelliti.*



*La sonda JUICE, Giove ed i suoi satelliti*

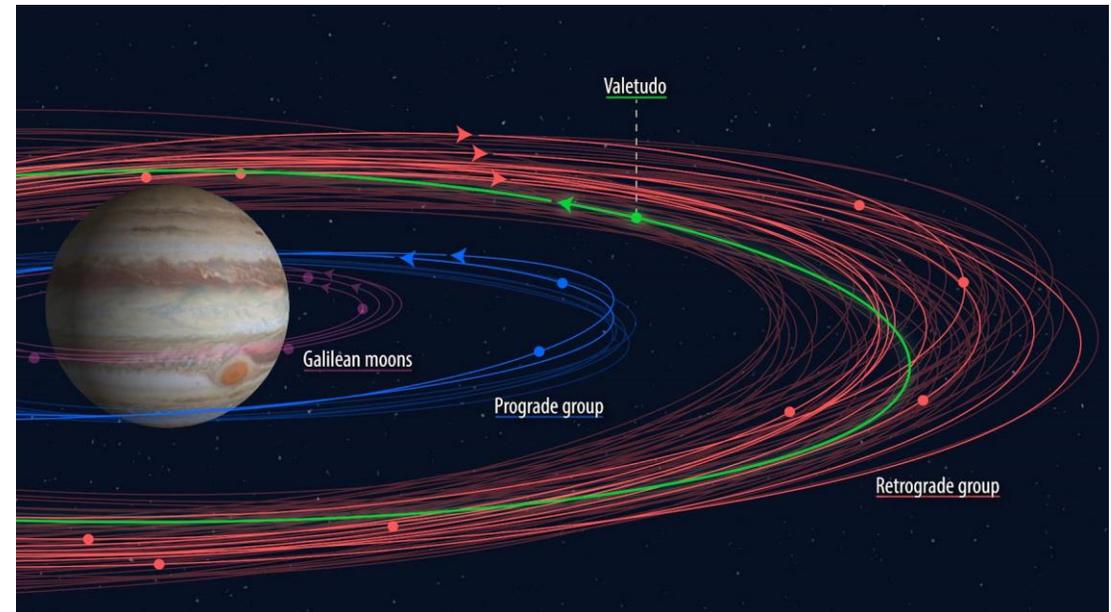


*Logo missione JUICE*

Lo scopo di questo lavoro è quello di verificare le variazioni di velocità misurate dallo Spacecraft, confrontando i dati ottenuti per via analitica con i risultati delle simulazioni della missione.

Si procederà, quindi, nel seguente modo:

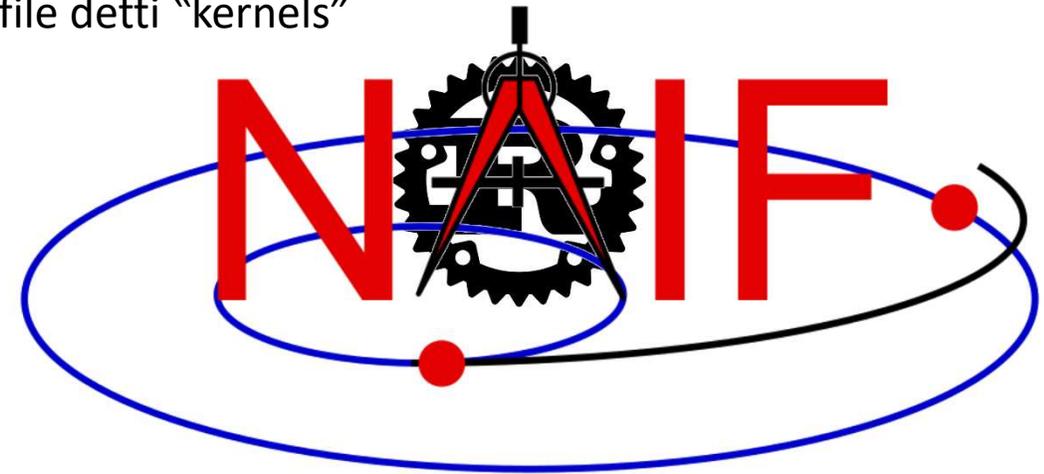
- Analisi dati missione attraverso lo SPICE toolkit.
- Utilizzo teorie sulle manovre impulsive.
- Confronto risultati ottenuti.



SPICE è un sistema informativo realizzato dalla divisione delle scienze planetarie della NASA al fine di assistere gli scienziati nel pianificare ed interpretare le osservazioni scientifiche derivanti dagli strumenti spaziali e gli ingegneri nel modellare, pianificare ed eseguire le attività richieste per poter condurre l'esplorazione planetaria.

Il set di dati utilizzati dal sistema SPICE è contenuto all'interno di file detti "kernels" classificabili nel seguente modo:

- Spk: effemeridi
- Pck: costanti fisiche, dinamiche e cartografiche.
- Ik: informazioni strumentazione.
- Ck: informazioni orientamento.
- Ek: informazioni eventi missione.
- Fk: informazioni allineamento strumenti (antenne ecc.).
- Dsk: contengono modelli dettagliati sulla forma dei vari corpi.
- Sclk ed Lsk: utilizzati per conversioni temporali tra sistemi di riferimento differenti.
- Mk: lista di Kernel per un dato periodo di missione.



```

1 - cspice_furnsh('C:\Users\133123\Desktop\mice\Kernels\mk\metakernel.txt')
2
3 - global mu_EARTH mu_SUN omega_EARTH PM
4 - close all
5 - radii = cspice_bodvrd( 'EARTH', 'RADII', 3 );
6 - R_EARTH = radii(1); %Radius of Earth (km)
7 - mu_EARTH = cspice_bodvrd( 'EARTH', 'GM', 1 ); % Gravitational parameter for Earth, km^3/s^2
8 - mu_SUN = cspice_bodvrd( 'SUN', 'GM', 1);
9 - PM      = cspice_bodvrd( 'EARTH', 'PM', 3 );
10 - d1      = [1 1 0];
11 - PM1     = dot(PM,d1);
12 - d2      = [1 2 0];
13 - PM2     = dot(PM,d2);
14 - omega_EARTH = (PM2-PM1)*pi/180/24/3600;%rad/sec
15
16 - cal_t0 = '2023-DEC-12 00:30:00.000';
17 - et0 = cspice_str2et( cal_t0 );
18 - fprintf('Mission start day: %s\n', cal_t0)
19 - cal_tfinal = '2024-JAN-03 02:30:00.000';
20 - etfinal = cspice_str2et( cal_tfinal );
21 - fprintf('Mission end day: %s\n', cal_tfinal)
22 - step= 300;
23
24 - et_JU = [et0:step:etfinal];
25
26
27
28 - [ state_JU, lt ] = cspice_spkezr( '-28000', et_JU, ...
29 -                               'IAU_EARTH', 'NONE', 'EARTH' ); %units are km and km/S
30 - fprintf('Orbita JUICE generata!!!\n')
31 - [ state_SUN, lt ] = cspice_spkezr( 'SUN', et_JU, ...
32 -                               'IAU_EARTH', 'NONE', 'EARTH' );
33 - fprintf('Orbita SUN generata!!!\n')

```

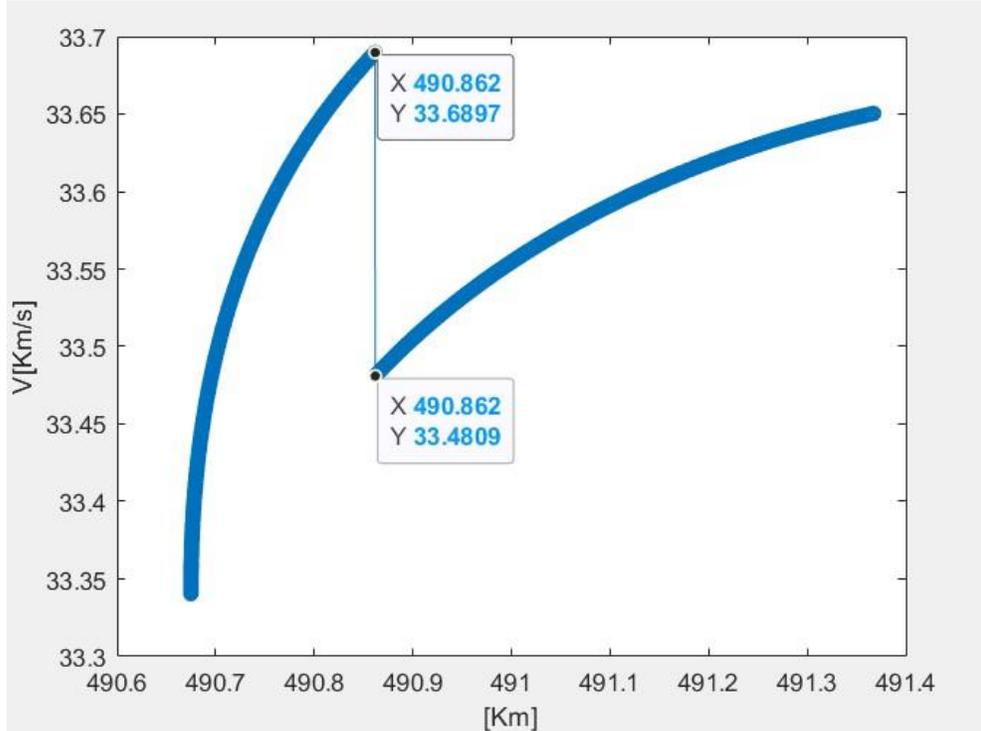
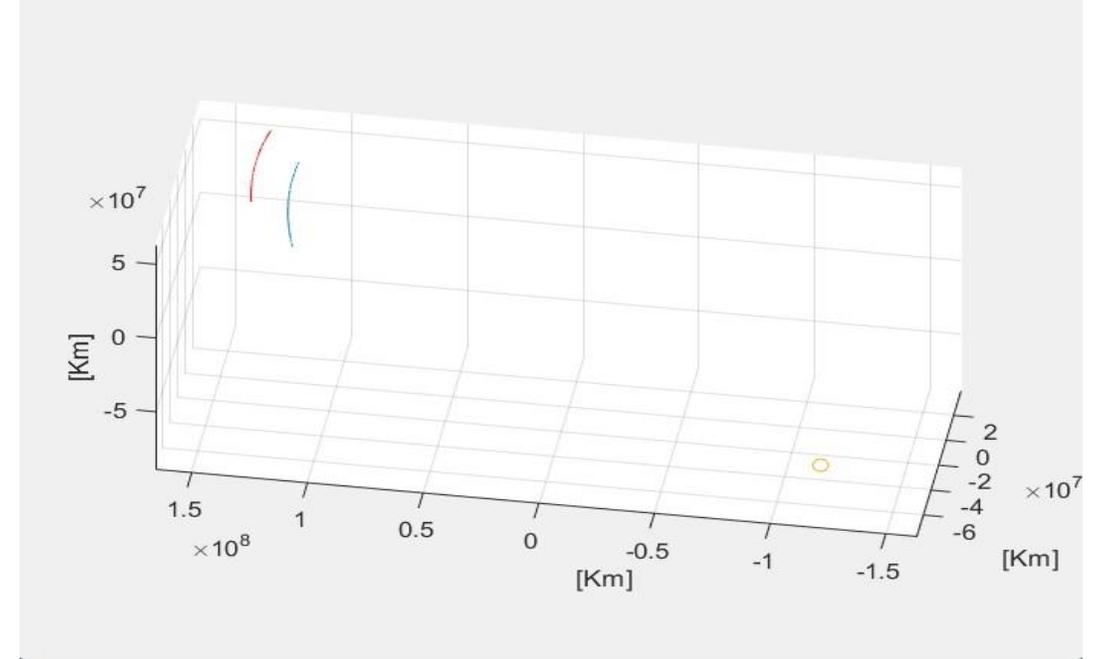


Grafico Velocità-Posizione

**Salto di velocità rilevante in data:**  
**2023 DEC 22 19:20:00.000**



In Blu traiettoria Juice, in rosso traiettoria Terra, in arancione posizione Sole

In basso: tabelle riassuntive componenti di posizione e velocità e parametri orbitali nell'istante considerato

x[km]	y[km]	z[km]	Vx[km\s]	Vy[km\s]	Vz[km\s]
-2.0931e+07	1.1758e+08	5.1741e+07	-3.3209e+01	-3.9114e+00	-1.6758e+00
-2.0941e+07	1.1758e+08	5.1741e+07	-3.3415e+01	-3.8810e+00	-1.8340e+00
-2.0951e+07	1.1758e+08	5.1740e+07	-3.3415e+01	-3.8832e+00	-1.8350e+00

RP[Km]	ECC	INC[deg]	LNODE[deg]	ARGP[deg]	M0[deg]	T0[s]	MU[km^3/s^2]
1.2934e+08	0.104991	0.414355	3.0462e-03	1.3649e+00	0.294960	7.5655e+08	1.3271e+11
1.2944e+08	0.118022	0.415118	6.2748e+00	1.4151e+00	0.255525	7.5655e+08	1.3271e+11
1.2944e+08	0.118022	0.415118	6.2748e+00	1.4151e+00	0.255587	7.5655e+08	1.3271e+11

Dai dati ottenuti dall'analisi della missione abbiamo individuato un  $\Delta V = 0,2093 \text{ Km/s}$  , il quale risulta essere richiesto per un periodo pari a circa 320 s

Per il calcolo analitico utilizziamo l'equazione relativa ad una manovra impulsiva con cambio di piano:

$$\Delta v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 v_2 (\cos \Delta \gamma - \cos \gamma_1 \cos \gamma_2 (1 - \cos \delta))}$$

Per il calcolo degli angoli  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$  passiamo attraverso:

**1** Calcolo la distanza

$$r = \sqrt{\vec{r} \cdot \vec{r}} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

**2** Calcolo la velocità

$$v = \sqrt{\vec{v} \cdot \vec{v}} = \sqrt{v_X^2 + v_Y^2 + v_Z^2}$$

**3** Calcolo la velocità radiale

$$v_r = \frac{\vec{r} \cdot \vec{v}}{r} = \frac{X v_X + Y v_Y + Z v_Z}{r}$$

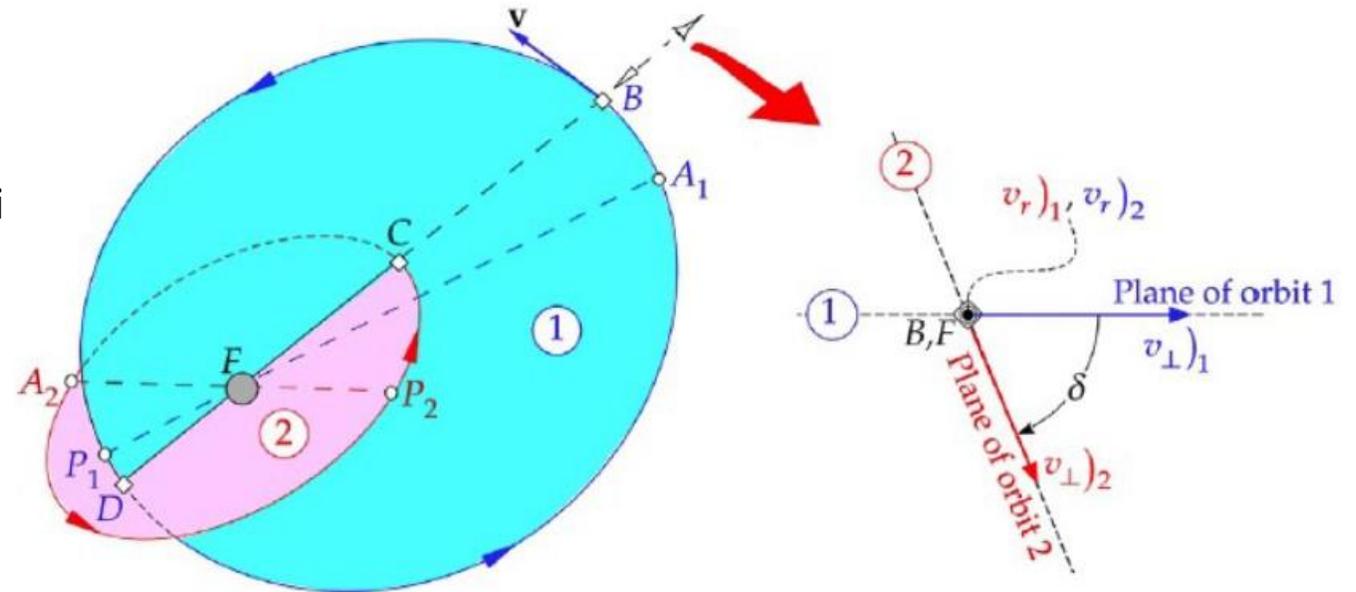
Ed, infine, invertendo le due relazioni:

$$v_{1r} = v_1 \sin \gamma_1 \quad v_{2r} = v_2 \sin \gamma_2$$

Inserendo quindi tutti i dati fin qui ottenuti nell'equazione iniziale, otteniamo un  $\Delta V = 0,2093 \text{ Km/s}$

## Conclusioni sui risultati ottenuti

- Risultati prossimi a quelli delle simulazioni
- Ottima soluzione per ottenere un'approssimazione di primo tentativo per il  $\Delta V$  richiesto



Kernels utilizzati: <https://www.cosmos.esa.int/web/spice/spice-for-juice>

SPICE toolkit: <https://naif.jpl.nasa.gov/naif/toolkit.html>

JUICE: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Juice](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice)