

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

Relazione per la prova finale

**Equilibrio degli asteroidi troiani nei punti
Lagrangiani del sistema Sole-Giove**

Tutor universitario: prof. Giacomo Colombatti

Laureanda: Paola Serlini

Università degli Studi di Padova

Padova, 17 novembre 2023

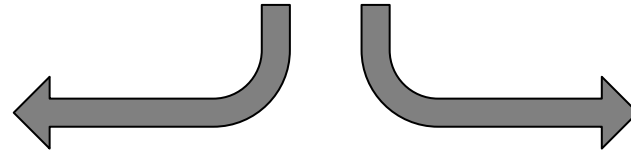
Si definisce $\eta_2 = \frac{m_2}{m_1+m_2}$ dove m_1 e m_2 sono le masse dei primari \longrightarrow

PROBLEMA CIRCOLARE RISTRETTO DEI TRE CORPI

Condizioni $\begin{cases} \dot{x} = \dot{y} = \dot{z} = 0 \\ \ddot{x} = \ddot{y} = \ddot{z} = 0 \end{cases}$

LE CINQUE CONFIGURAZIONI DI EQUILIBRIO

Tre posizionate lungo la congiungente dei due primari



Due posizionate ai vertici dei triangoli equilateri aventi come base i due primari

L1, L2, L3

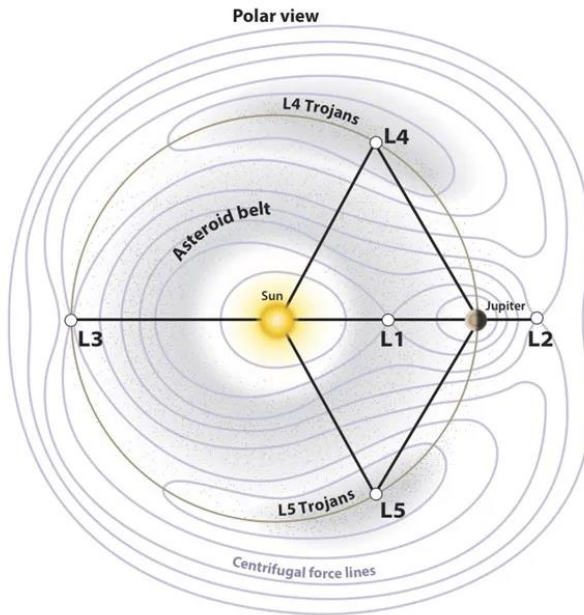
L4, L5

con $\xi = x/r_{12}$, le radici di $f(\eta_2, \xi) = 0$

dove $f(\eta_2, \xi) = (1 - \eta_2) \frac{\xi + \eta_2}{|\xi + \eta_2|^3} + \eta_2 \frac{\xi + \eta_2 - 1}{|\xi + \eta_2 - 1|^3} - \xi$

$$\begin{cases} x = \frac{r_{12}}{2} - \eta_2 r_{12} \\ y = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} r_{12} \end{cases}$$

- *Presentazione delle coordinate dei punti lagrangiani nel sistema Sole-Giove*



- *Origine e caratteristiche fisiche degli asteroidi Troiani*

PRIMA PARTE

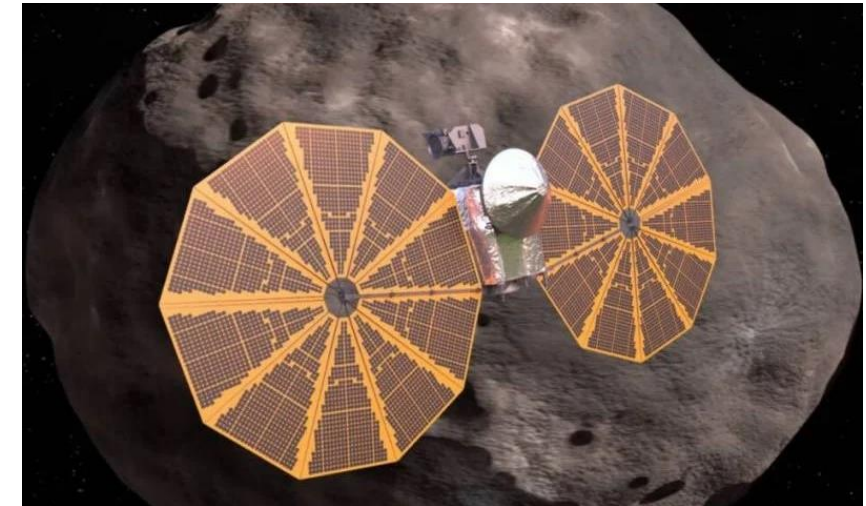


- *Presentazione delle orbite eseguite dagli asteroidi Troiani*

SECONDA PARTE



- *La Missione Lucy e esposizione dei risultati dell'orbita di trasferimento svolta*



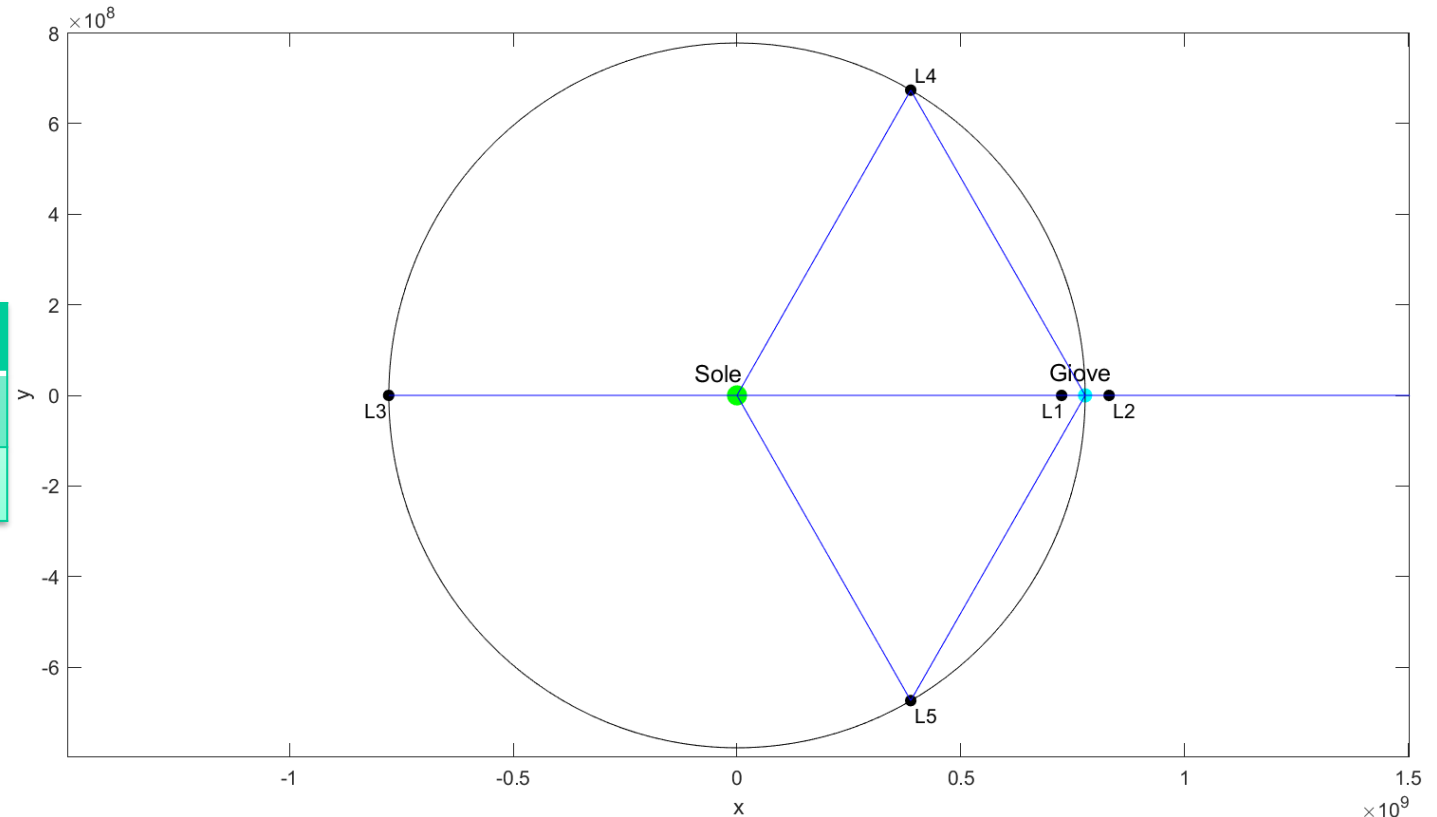
COORDINATE DEI PUNTI LAGRANGIANI NEL SISTEMA SOLE-GIOVE

m_{SOLE}	$1988500 \times 10^{24} \text{ kg}$
m_{GIOVE}	$1898.13 \times 10^{24} \text{ kg}$
r_{12}	$778 \times 10^6 \text{ km}$
η_2	9.4810×10^{-4}

	$x \text{ [km]}$	$y \text{ [km]}$
L4	3.88258×10^8	6.73768×10^8
L5	3.88258×10^8	-6.73768×10^8

Metodo della bisezione

	$x \text{ [km]}$
L1	7.25384×10^8
L2	8.31546×10^8
L3	-7.78309×10^8



Posizione dei cinque punti Lagrangiani nel piano xy

Condizioni :

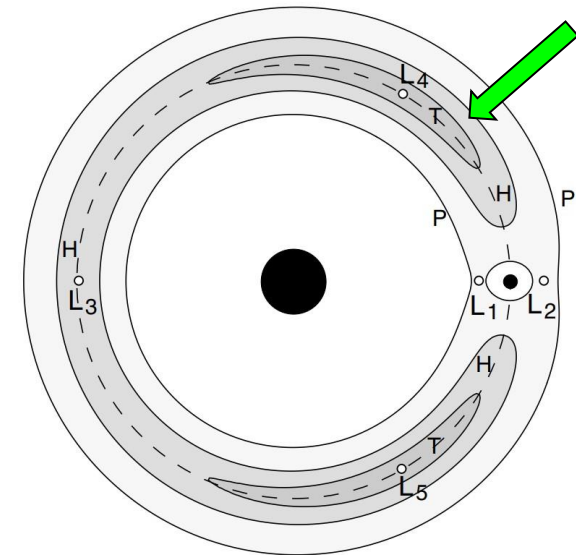
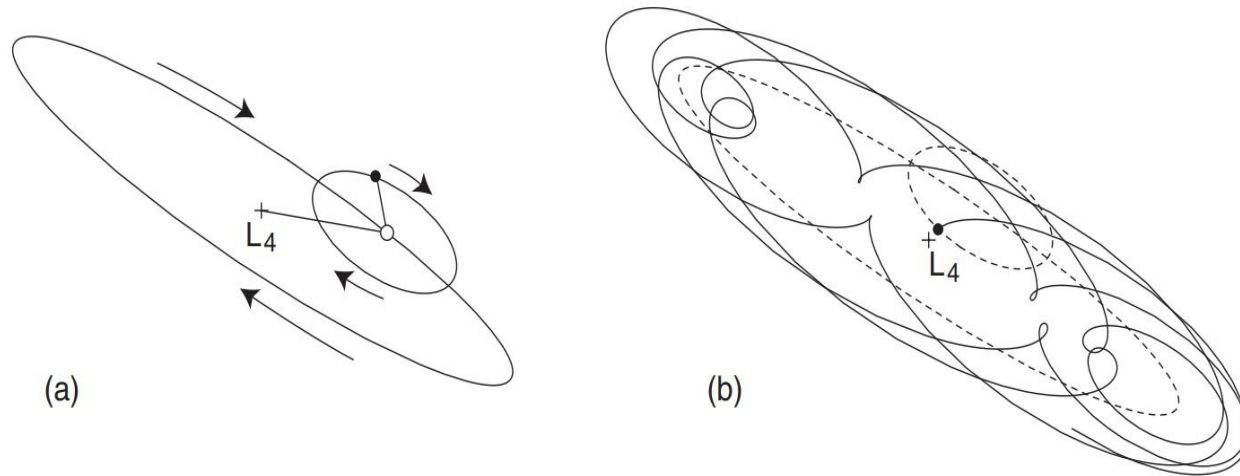
- Piccoli spostamenti dal punto di equilibrio
- $\eta_2 < \eta_{CRIT} = (27 - \sqrt{621})/54 \approx 0.0385$

Allora l'asteroide si muove lungo un percorso stabile con due componenti distinte

- Movimento di librazione allungato e di lungo periodo attorno a L_4

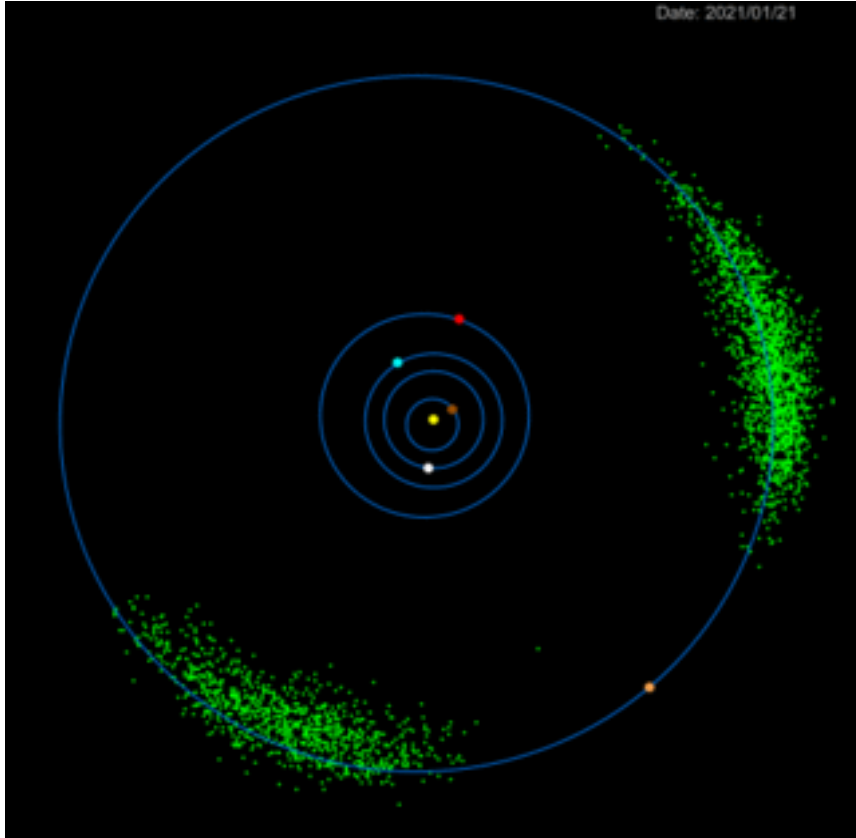
$$T_1 = T_G / \sqrt{(27/8)\eta_2}$$
- Moto di breve periodo

$$T_2 = T_G / \sqrt{1 - (27/8)\eta_2}$$



Il moto di un asteroide in orbita tadpole di piccola ampiezza attorno L_4 . **a.** Il movimento ha due contributi separati: un movimento di lungo periodo attorno al punto di equilibrio combinato con un movimento di breve periodo derivante dal movimento kepleriano dell'asteroide. **b.** Il percorso risultante nel piano rotante.

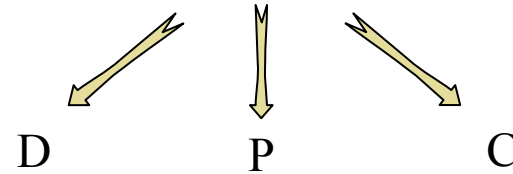
Orbite percorribili dagli asteroidi Troiani, si identificano con la lettera T le orbite tadpole, con H le orbite a ferro di cavallo, con P le orbite di passaggio



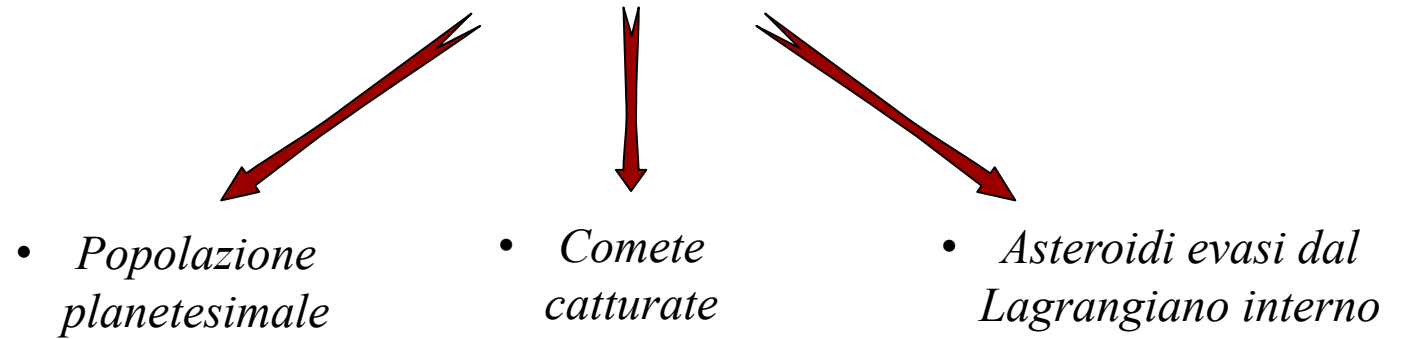
Rappresentazione in verde degli sciami di asteroidi Troiani, posti in L4 e L5, che precedono e seguono Giove nella sua orbita attorno al Sole ad una distanza angolare di 60°.

CARATTERISTICHE FISICHE

Spettri di tipo:



ORIGINE

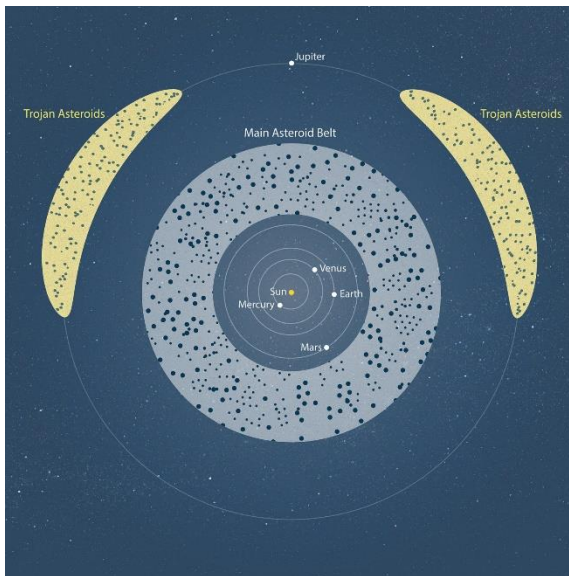


MISSIONE LUCY

MISSIONE LUCY

OBIETTIVI DI MISSIONE

- *Geologia della superficie*
- *Colore e Composizione della superficie*
- *Struttura interna e Proprietà generali*
- *Satelliti e Anelli*



- 1 • (152830) *Dinkinesh*
- 2 • (52246) *DonaldJohanson*
- 3 • (3548) *Eurybates*
- 4 • (15094) *Polymele*

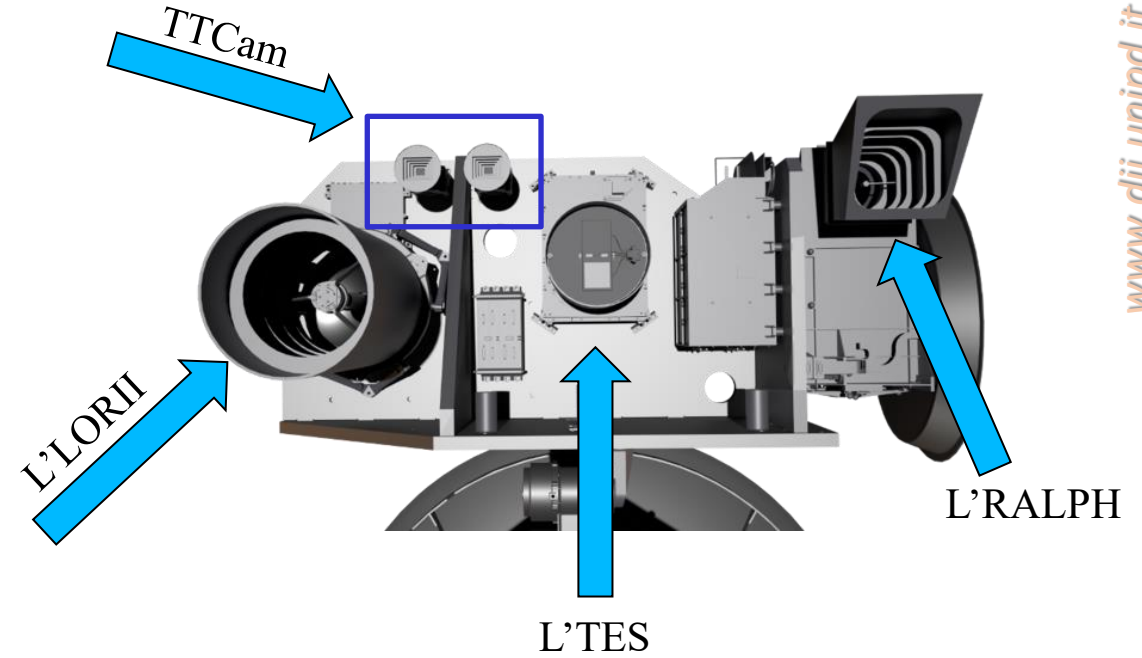
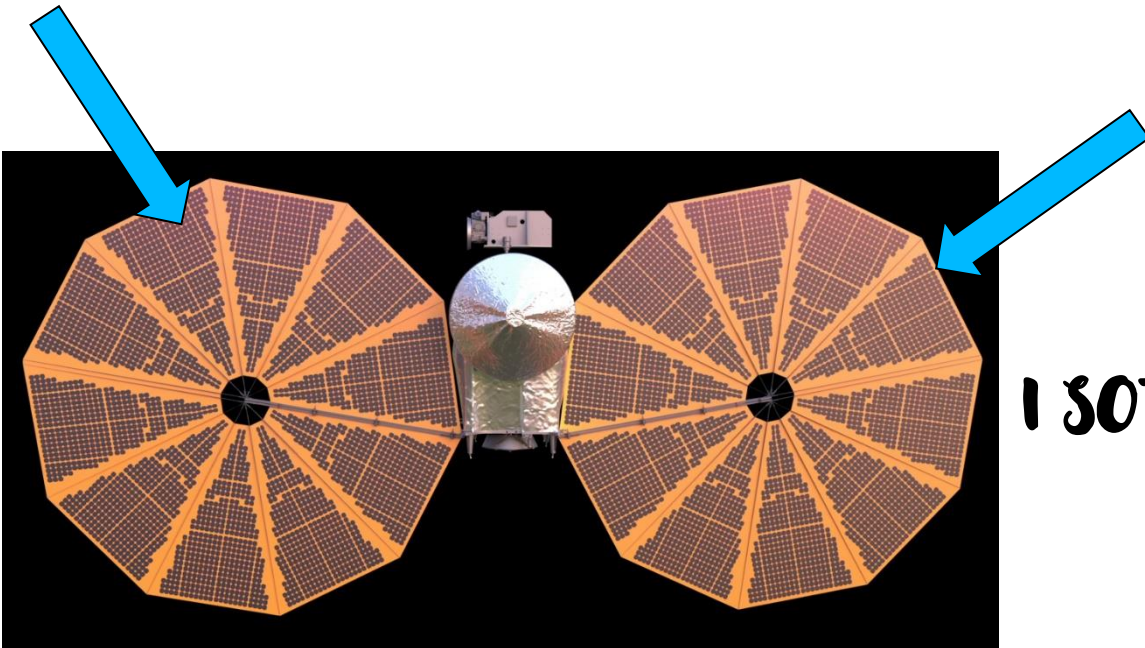
TARGETS

- 5 • (11351) *Leucus*
- 6 • (21900) *Orus*
- 7 • *Patroclus e Menoetius*

In giallo sono rappresentati gli asteroidi Troiani;
nella fascia grigia, gli asteroidi della fascia principale

IL PAYLOAD

- *L'Lorri*
- *L'Ralph*
- *L'Tes*



I SOTTOSISTEMI

- *Sottosistema di Telecomunicazione*
- *Terminal Tracking Cameras (TTCam)*
- *Sottosistema di Potenza*

LANCIO →

*16 ottobre 2021 da Cape
Canaveral con Atlas 401*

3 EGA_s

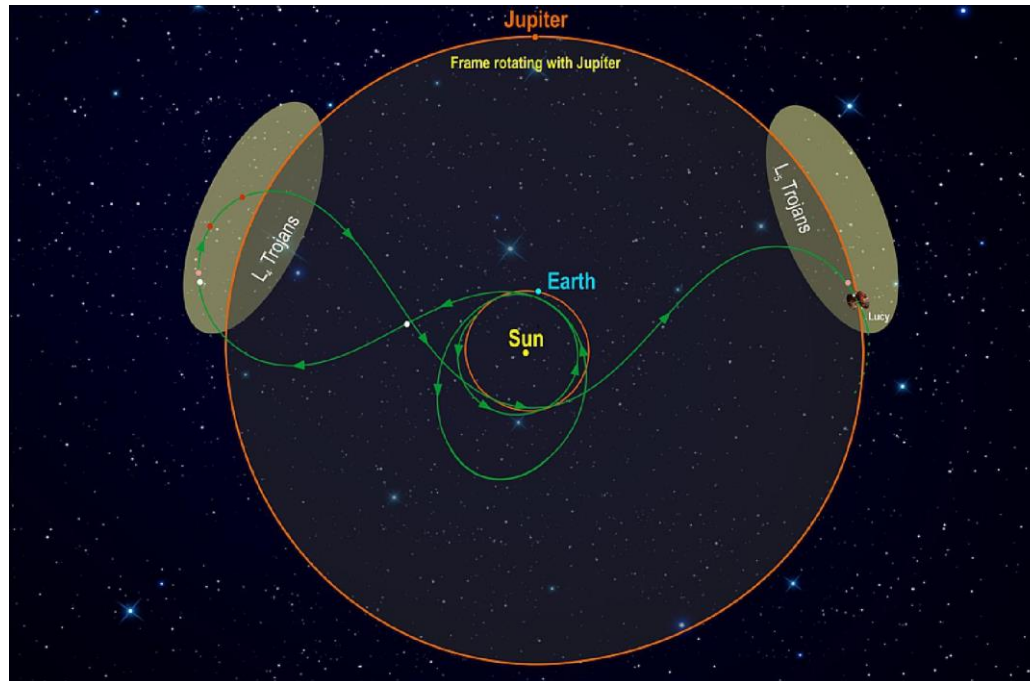
7 SORVOLI →

*Primo sorvolo avvenuto l'1
novembre 2023 Dinkinesh* →

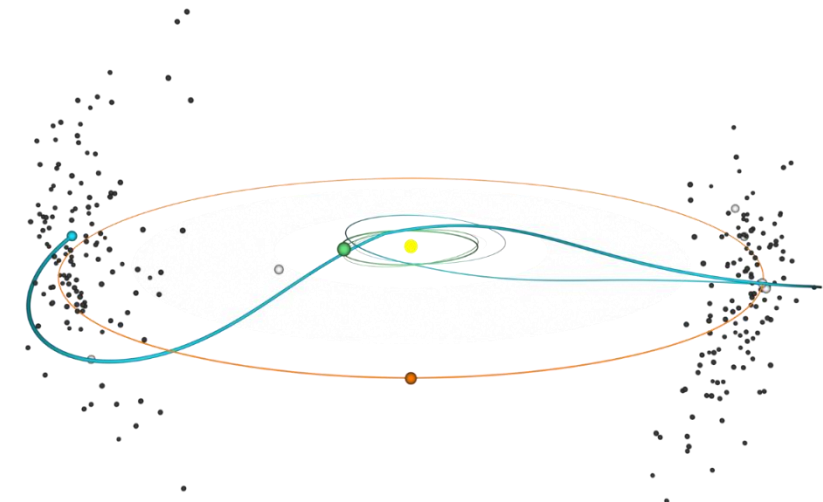
Nuova scoperta



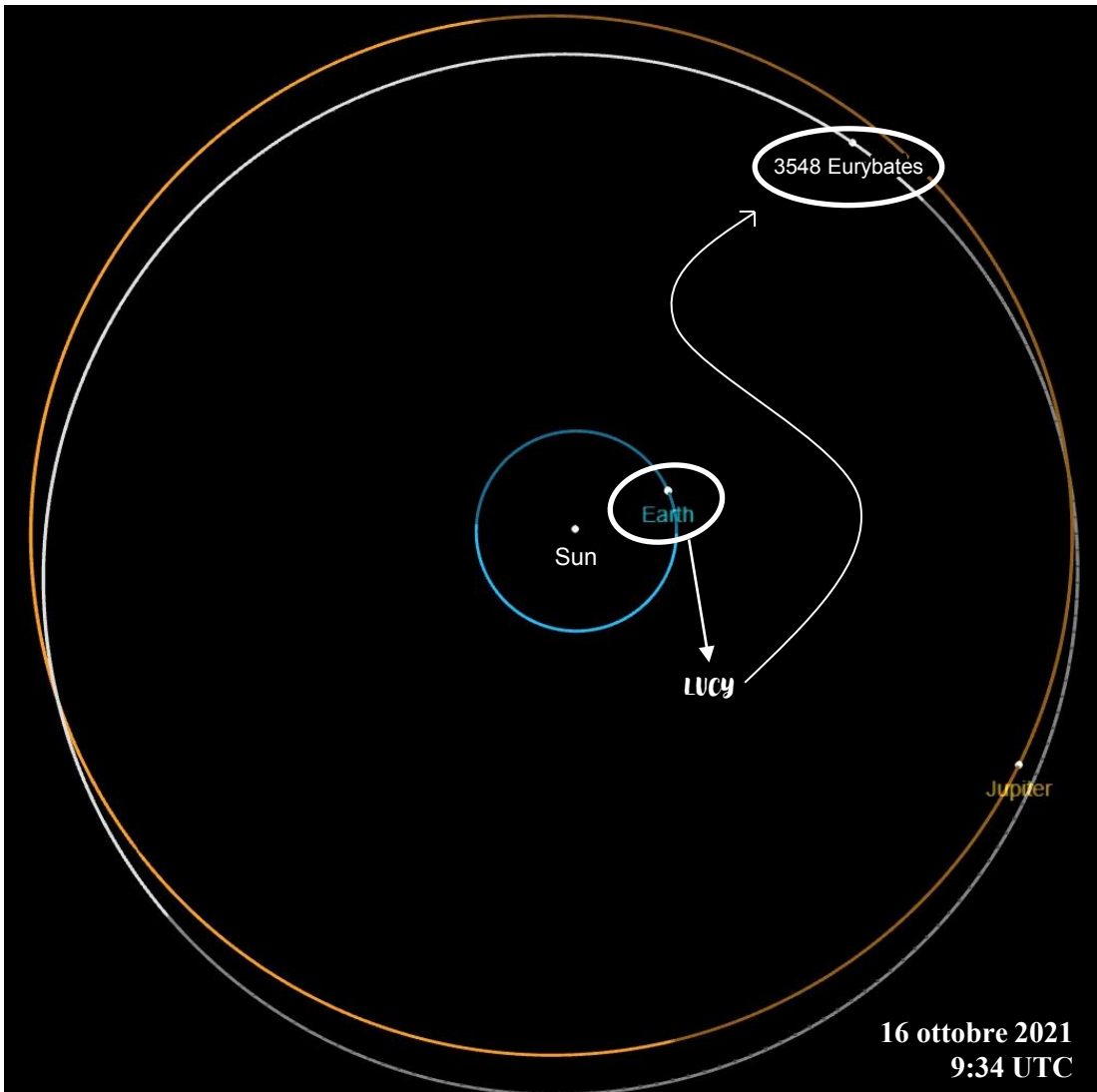
L'asteroide Dinkinesh e il suo satellite binario



Traiettoria dell'intera missione Lucy



Vista obliqua dell'intera missione Lucy in un sistema di riferimento in rotazione di Giove



PROBLEMA

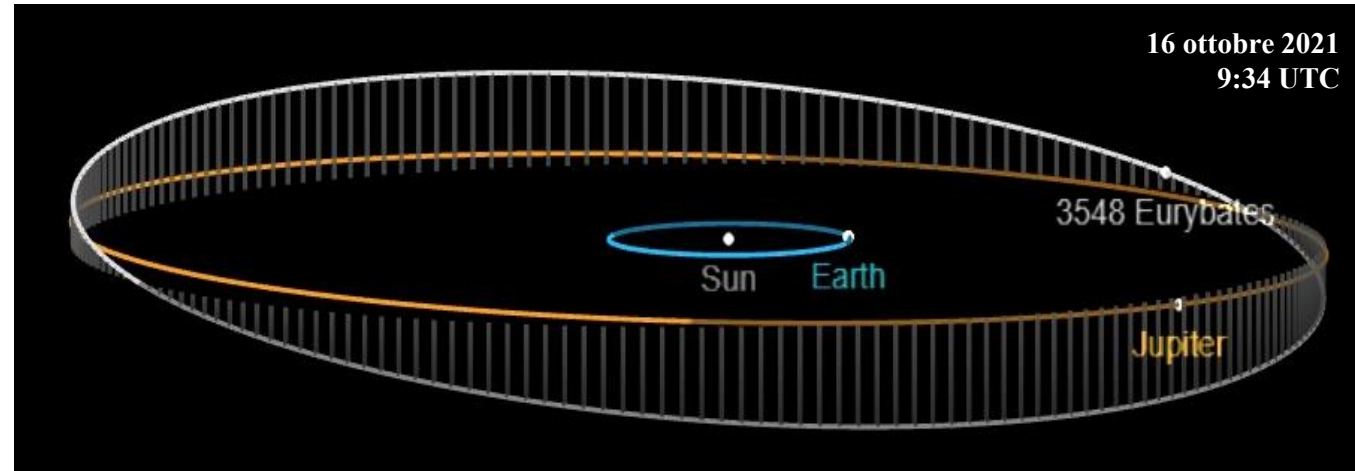
- *Veicolo spaziale Lucy* \longrightarrow *Satellite Inseguitore*
- *Asteroide Troiano Eurybates* \longrightarrow *Corpo Target*

OBIETTIVO

- *Descrizione dell'orbita di trasferimento*
- *Calcolo di:*
 - ΔV necessario
 - *WAIT TIME*

https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/?sstr=Eurybates&view=VO

DATI



μ_{SOLE}	$132712 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{s}^2$
raggio_{SOLE}	696340 km

<i>Angolo di anticipo di Eurybates rispetto a Lucy</i>	65.9474°
--	-----------------

e_L	0.01671022
i_L	0.00005°
ω_L	102.94719°
Ω_L	-11.26064°
a_L	$149.598 \times 10^6 \text{ km}$

PARAMETRI ORBITALI DI LUCY

e_E	0.0911182
i_E	8.0541659°
ω_E	27.6800209°
Ω_E	43.5394905°
a_E	$779.139674 \times 10^6 \text{ km}$

PARAMETRI ORBITALI DI EURYBATES

LA MANOORA

$$\Delta\Omega = 54.8001^\circ$$

$$ALA = 54.8001^\circ$$

$$\vartheta_M = -48.1468^\circ$$

$$r_M = 1.50869 \times 10^8 \text{ km}$$

$$\Delta V_M = 4.17456 \text{ km/s}$$

L'ORBITA DI TRASFERIMENTO

$$e = 0.675553$$

$$a = 4.65005 \times 10^8 \text{ km}$$

$$T = 1.72946 \times 10^8 \text{ s}$$

$$T_{TOF} = 8.6473 \times 10^8 \text{ s}$$

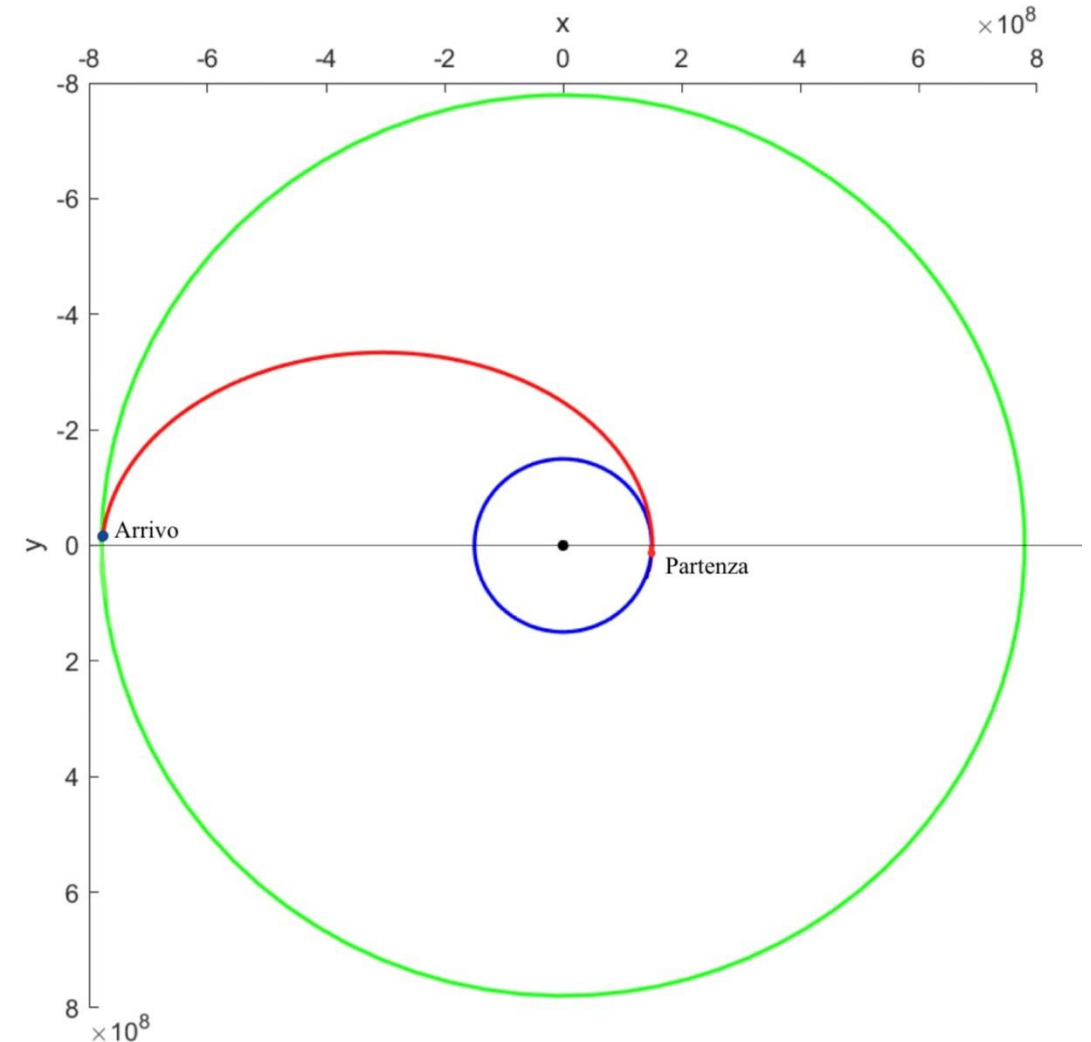
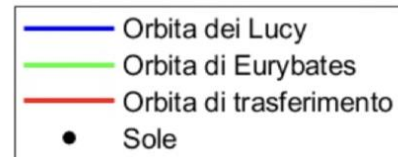
ANGOLI

$$WAIT\ TIME = 3.14843 \times 10^7 \text{ s}$$

$$\vartheta_{L_PARTENZA} = 359.156^\circ$$

$$\vartheta_{E_PARTENZA} = 96.1642^\circ$$

$$\vartheta_{ARRIVO} = 179.156^\circ$$



VARIAZIONE DI VELOCITA' TOTALE

$$\Delta V_{TOTALE} = 14.3497 \text{ km/s}$$

CARBURANTE E SPINTA

<i>Massa della sonda Lucy (senza carburante) \mathcal{M}_f</i>	771kg
<i>Impulso specifico della sonda Lucy \mathcal{I}_{sp}</i>	324s
<i>Variazione di velocità totale Δv_{TOT}</i>	14349.7m/s

www.dii.unipd.it

$$\frac{\Delta \mathcal{M}}{\mathcal{M}_i} = 1 - e^{-\frac{\Delta v_{TOT}}{\mathcal{I}_{sp} \cdot g_0}} \quad \text{con} \quad \Delta \mathcal{M} = \mathcal{M}_i - \mathcal{M}_f$$

$$\mathcal{T} = \Delta \mathcal{M} \cdot \mathcal{I}_{sp} \cdot g_0$$

RISULTATI

Massa del satellite (con carburante) \mathcal{M}_i

70430.9kg

Carburante consumato $\Delta \mathcal{M}$

69659.9kg

Spinta ottenuta \mathcal{T}

$2.2141 \times 10^8 \text{ N}$

CONFRONTO
CON I DATI
REALI



Δv Budget

1722.5m/s

Massa del satellite (con carburante) \mathcal{M}_i

1325.6kg

Carburante consumato $\Delta \mathcal{M}$

554.601kg

ASSURDO!!



**NECESSARIE LE MANOVRE DI ASSIST
GRAVITAZIONALE**

**GRAZIE PER LA VOSTRA
ATTENZIONE**

- [1] Chiara Finocchietti. «Studio Preliminare di Missioni Spaziali a Bassa Spinta verso Orbite LyapunovVerticali». In: (2011).
- [2] H.D. Curtis. *Orbital Mechanics for Engineering Students: Revised Reprint*. Aerospace Engineering. Elsevier Science, 2020. isbn: 9780323853453. url: <https://books.google.it/books?id=k3oBEAAAQBAJ>.
- [3] Francesco Marzari et al. «Origin and evolution of Trojan asteroids». In: *Asteroids III* 1 (2002), pp. 725–738.
- [4] Harold F Levison et al. «Lucy mission to the Trojan asteroids: Science goals». In: *The Planetary Science Journal* 2.5 (2021), p. 171.
- [5] Harold F Levison et al. «NASA’s Lucy Mission to the Trojan Asteroids». In: *2021 IEEE Aerospace Conference (50100)*. IEEE. 2021, pp. 1–10.
- [6] Lucy. NASA. url: <https://science.nasa.gov/mission/lucy/>.
- [7] Catherine B Olkin et al. «Lucy Mission to the Trojan asteroids: Instrumentation and encounter concept of operations». In: *The Planetary Science Journal* 2.5 (2021), p. 172.
- [8] Lucy. NASA. url: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app.html#/>.
- [9] Lucy. NASA. url: https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/?sstr=eurybates.
- [10] Lucy. NASA. url: <https://www.ulalaunch.com/rockets/atlas-v.29>