

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

Relazione per la prova finale
Lancio e posizionamento in orbita del James Webb

Relatore: *Carlo Bettanini Fecia di Cossato*

Laureando: *Bastianello Filippo*

Matricola: *1218695*

Padova, 17/11/2022

James Webb Space Telescope

Descrizione

Il James Webb Space Telescope è un **osservatorio spaziale** di ultima generazione lanciato nello spazio il **25 dicembre 2021**. L'innovativo telescopio opera nel **vicino e medio infrarosso**

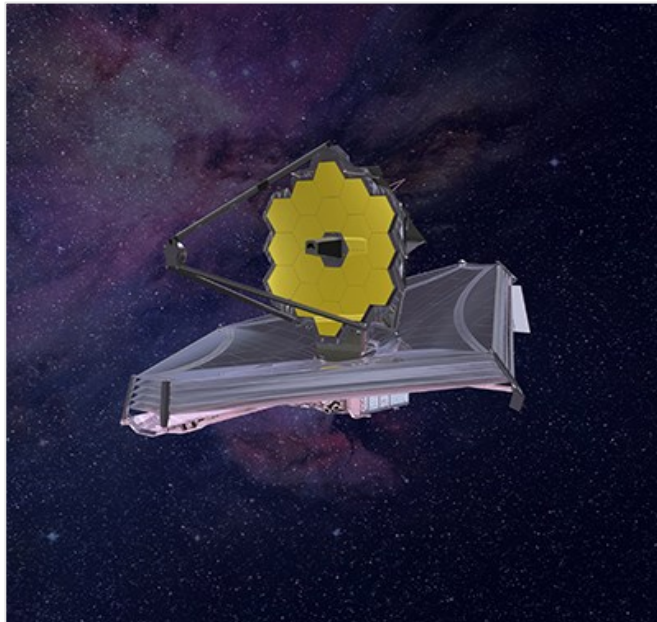


Figura 1 – James Webb Space Telescope

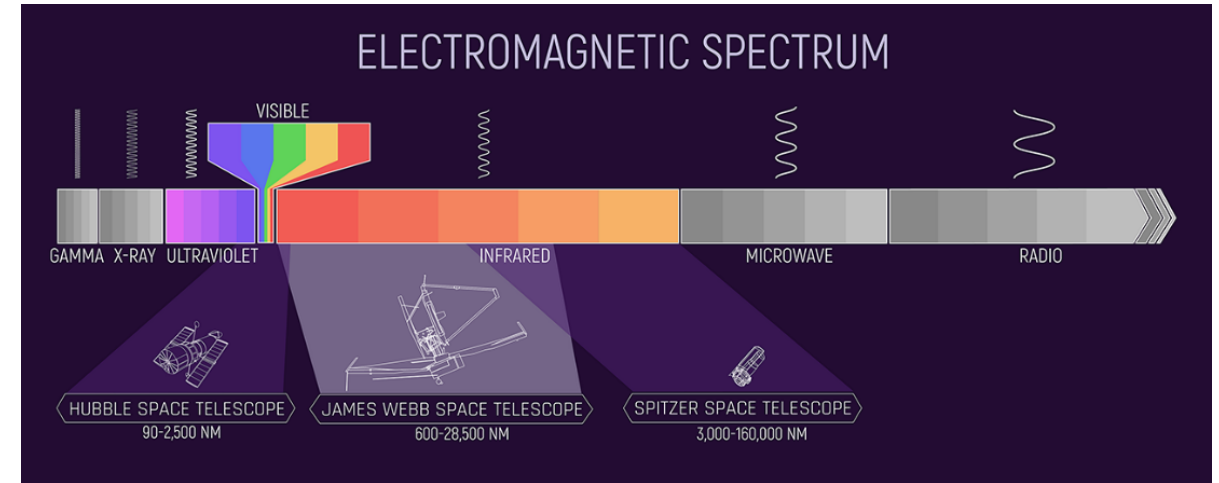


Figura 2 – Confronto tra spettri elettromagnetici

Obiettivi

- Ricerca della **formazione** delle **prime galassie**
- Osservazione del **ciclo vitale delle stelle**
- Studio della **formazione** e dell'**evoluzione** dei **sistemi planetari**
- Studio degli **esopianeti** e dei **composti chimici** di cui sono formati

Elementi principali

Il **James Webb Space Telescope** può essere diviso in due parti:

Observing side

Lato dove si trovano lo **specchio primario**, lo **specchio secondario** e l'**Integrate Science Instrument Module**

Sun-facing side

Lato dove si trovano il **pannello solare**, lo **spacecraft bus**, l'**antenna da alto guadagno** e i **thrusters**

Queste due parti sono poi divise dal **Multilayer Sunshield**, uno scudo solare che consente di mantenere la Observing Side a **temperatura inferiore ai 40K**

Temperatura necessaria affinché sia possibile captare i segnali dallo spazio profondo senza disturbi

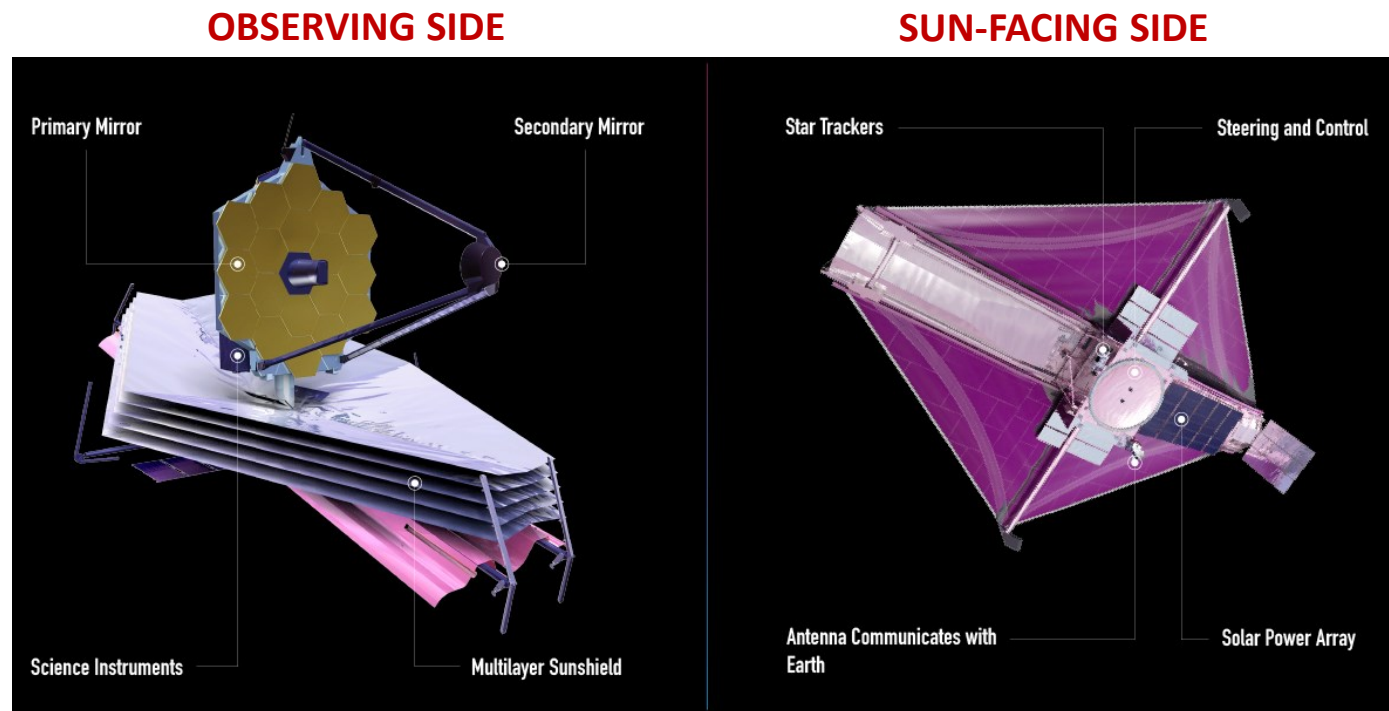


Figura 3 – I due lati del James Webb Space Telescope con rispettivi strumenti

Sito di lancio e Veicolo di Lancio

Sito di lancio

Il sito di lancio del James Webb è il complesso dell'**Arianespace** al **Centre Spatial Guyanais** (CSG), o Guiana Space Center, presso la città di Kourou in Guyana Francese



Figura 4 – Localizzazione del Guiana Space Center

Veicolo di lancio

Il veicolo di lancio per il James Webb Space Telescope è il **lanciatore spaziale Ariane 5**. Esso è costituito da:

- **Lower composite stage**
- **Upper stage**
- **Payload adapter**
- **Payload fairing**

Date le grandi dimensioni dell'osservatorio spaziale, quest'ultimo è stato caricato all'interno del lanciatore piegato su sé stesso



Figura 5 – Scomposizione dell'Ariane 5

Separazione dal Lanciatore

L'osservatorio James Webb è stato lanciato il 25/12/2021 alle ore 12:20 UTC con destinazione l'**orbita di Halo** intorno al **secondo punto di Lagrange**.

Dopo il decollo, Webb ha iniziato a salire verticalmente all'interno del lanciatore Ariane 5 che lo ha spinto per i primi **27 minuti**. Durante questi minuti si sono susseguiti una serie di eventi che hanno portato alla **separazione del telescopio dal lanciatore**

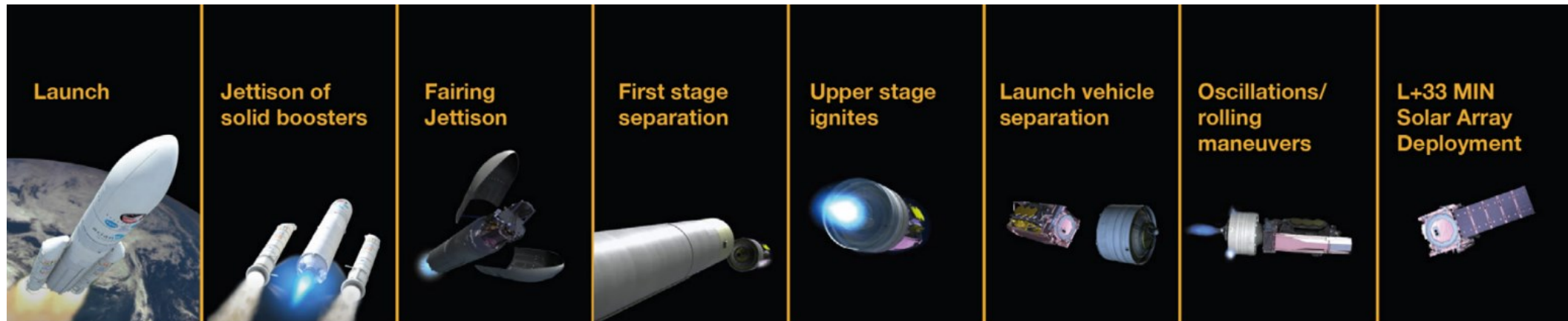


Figura 6 - Sequenza di avvenimenti dal lancio al dispiegamento del pannello solare

Sequenza di apertura del James Webb

Dopo che l'osservatorio si è separato dal lanciatore, il James Webb Space Telescope ha iniziato il suo **viaggio di 30 giorni nello spazio**. Nella rotta diretta verso il secondo punto di Lagrange sono state compiute una serie di **delicate procedure** affinché si **dispiegassero tutti i dispositivi** che erano stati **ripiegati all'interno** dal lanciatore. In particolare si è aperto lo **specchio primario** e il **Multilayer Sunshield**

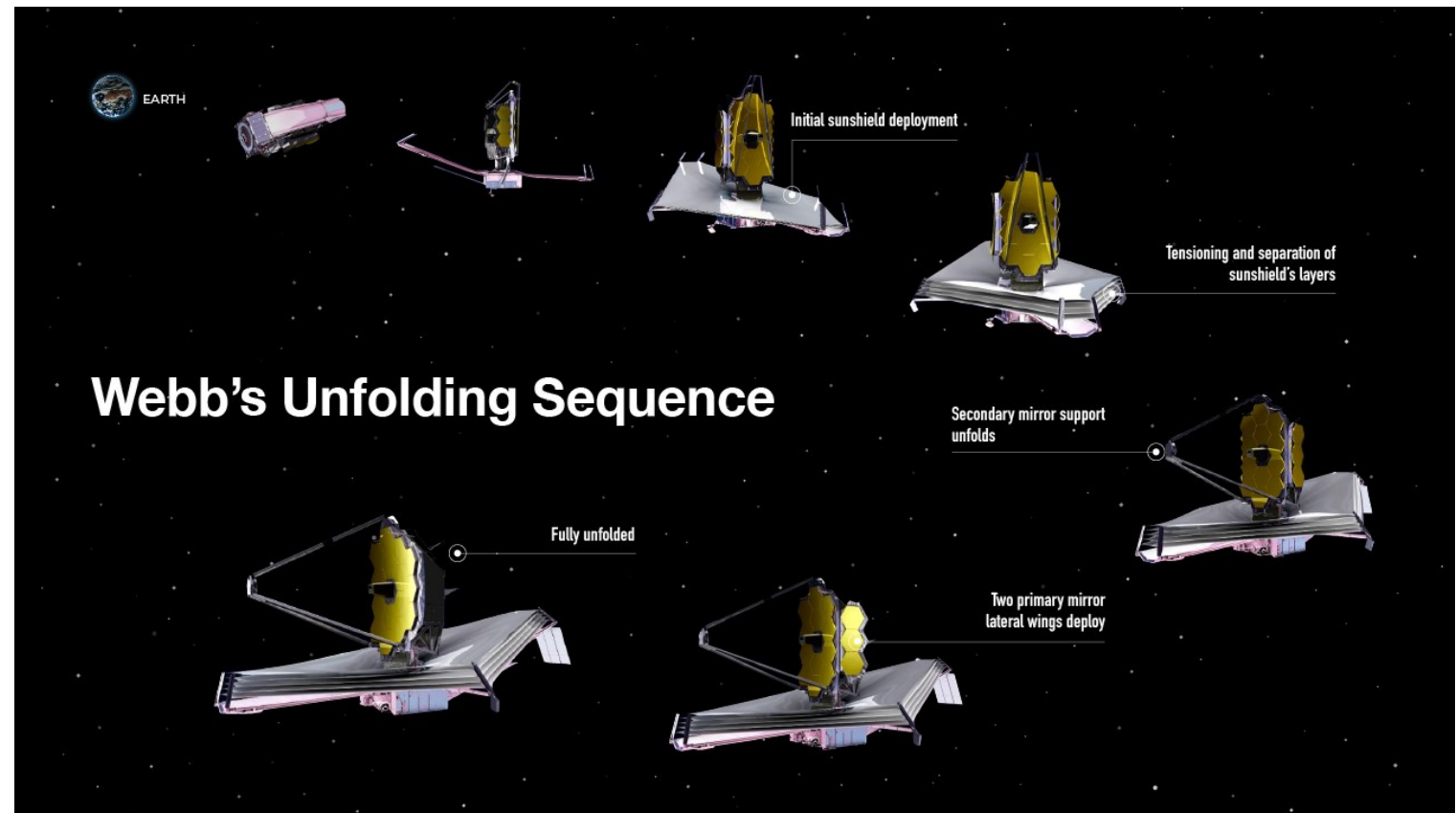


Figura 7 – Sequenza di dispiegamento degli elementi principali del James Webb Space Telescope

Punti di Lagrange

Problema dei 3 corpi ristretto

I punti di Lagrange sono la **soluzione** al problema dei tre corpi ristretto. Le **ipotesi del problema** sono:

- presenza di **tre corpi**, uno di **massa trascurabile** e gli altri due (detti primari) di massa m_1 e m_2
- i due corpi massivi viaggiano su **orbite circolari**
- il **sistema di riferimento** ha **origine** nel **baricentro** dei due **corpi massivi** e **ruota** con la loro **stessa velocità**

Equazioni del moto

$$\ddot{x} - 2\Omega\dot{y} - \Omega^2x = -\frac{\mu_1}{r_1^3}(x + \alpha R) - \frac{\mu_2}{r_2^3}(x - \beta R)$$

$$\ddot{y} - 2\Omega\dot{x} - \Omega^2y = -\frac{\mu_1}{r_1^3}y - \frac{\mu_2}{r_2^3}y$$

$$\ddot{z} = -\frac{\mu_1}{r_1^3}z - \frac{\mu_2}{r_2^3}z$$

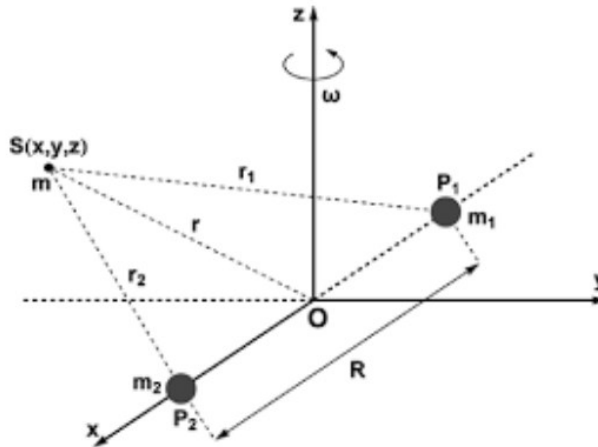


Figura 9 – Sistema di riferimento

| Punti | X | Y |
|-------|---|-------------------------|
| L1 | $R \left(1 - \left(\frac{\alpha}{3} \right)^{1/3} \right)$ | 0 |
| L2 | $R \left(1 + \left(\frac{\alpha}{3} \right)^{1/3} \right)$ | 0 |
| L3 | $-R \left(1 - \left(\frac{5\alpha}{12} \right)^{1/3} \right)$ | 0 |
| L4 | $\frac{R}{2} \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right)$ | $\frac{\sqrt{3}}{2} R$ |
| L5 | $\frac{R}{2} \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right)$ | $-\frac{\sqrt{3}}{2} R$ |

$$\bullet \quad \alpha = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad e \quad \beta = \frac{m_1}{m_1 + m_2}$$

$$\bullet \quad \mu_1 = Gm_1 \quad e \quad \mu_2 = Gm_2$$

Analisi di Stabilità dei punti di Lagrange

Potenziale

$$U_{\Omega} = U - \vec{v} \cdot (\vec{\Omega} \times \vec{r}) + \frac{1}{2} (\vec{\Omega} \times \vec{r}) \cdot (\vec{\Omega} \times \vec{r})$$

Matrice di rivoluzione linearizzata

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta v_x \\ \delta v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{d^2 U_{\Omega}}{dx^2} & \frac{d^2 U_{\Omega}}{dxdy} & 0 & 2\Omega \\ \frac{d^2 U_{\Omega}}{dydx} & \frac{d^2 U_{\Omega}}{dy^2} & -2\Omega & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta v_x \\ \delta v_y \end{pmatrix}$$

Tabella autovalori

| | λ | σ |
|-----------|---|---|
| L1 | $\pm \Omega \sqrt{1 + 2\sqrt{7}}$ | $\pm i \Omega \sqrt{2\sqrt{7} - 1}$ |
| L2 | $\pm \Omega \sqrt{1 + 2\sqrt{7}}$ | $\pm i \Omega \sqrt{2\sqrt{7} - 1}$ |
| L3 | $\pm \Omega \sqrt{\frac{3m_1}{8m_2}}$ | $\pm i \Omega \sqrt{7}$ |
| L4 | $\pm i \frac{\Omega}{2} \sqrt{2 - \sqrt{27k^2 - 23}}$ | $\pm i \frac{\Omega}{2} \sqrt{2 + \sqrt{27k^2 - 23}}$ |
| L5 | $\pm i \frac{\Omega}{2} \sqrt{2 - \sqrt{27k^2 - 23}}$ | $\pm i \frac{\Omega}{2} \sqrt{2 + \sqrt{27k^2 - 23}}$ |

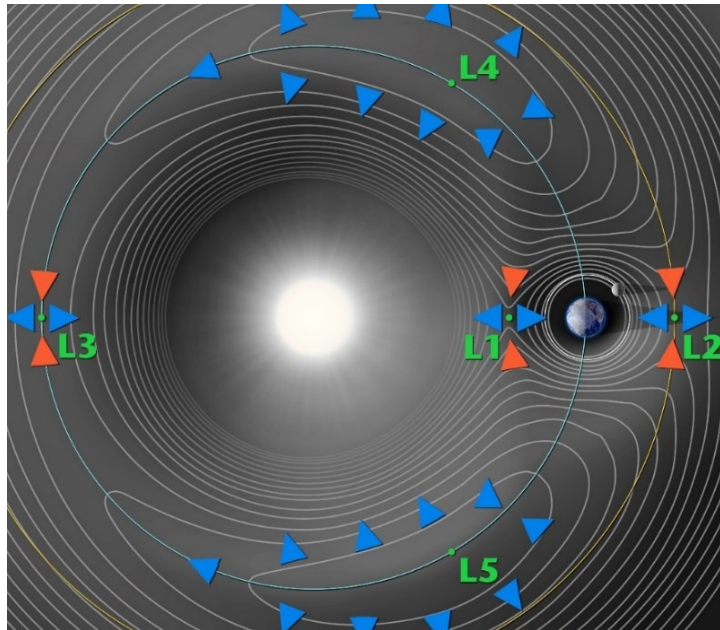


Figura 10 – Posizione dei Punti di Lagrange e curve equipotenziali

Metastabili

Stabili se:

$$m_1 \geq 25 m_2 \left(\frac{1 + \sqrt{1 - 4/625}}{2} \right)$$

Con $k = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$

Punti di Lagrange nel Sistema Sole-Terra

Posizione

- **L1** = circa **1.5 milioni di km** dalla Terra
- **L2** = circa **1.5 milioni di km** dalla Terra
- **L3** = poco più di **1AU** (150 milioni di km) dal Sole
- **L4** = circa **1AU** dal Sole e dalla Terra
- **L5** = circa **1AU** dal Sole e dalla Terra

Sono i **terzi vertici dei due triangoli equilateri nel piano dell'eclittica** aventi come base comune il segmento che unisce i centri di massa del sole e della terra

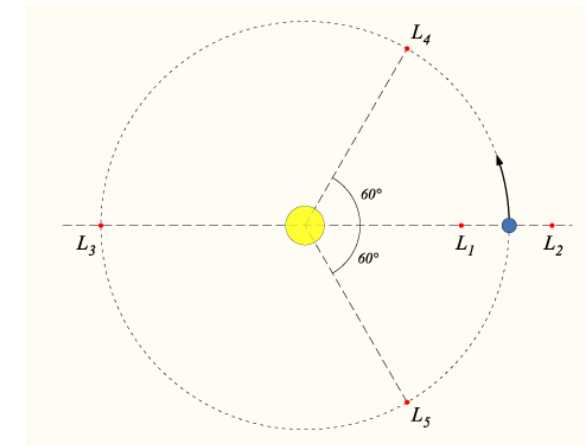


Figura 11 – I cinque punti di Lagrange

Perché L2

- Il **Sole**, la **Terra** e la **Luna** si trovano dallo **stesso lato**
- È possibile una **continua comunicazione** con la **Deep Space Network**
- **Visione completa** e senza ostacoli dello **spazio**

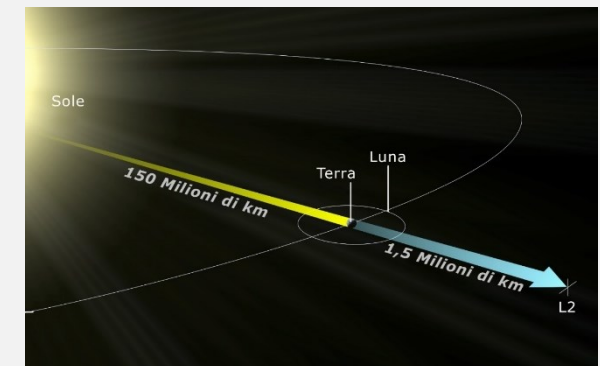


Figura 12 – Il secondo punto lagrangiano

Manovre Correttive

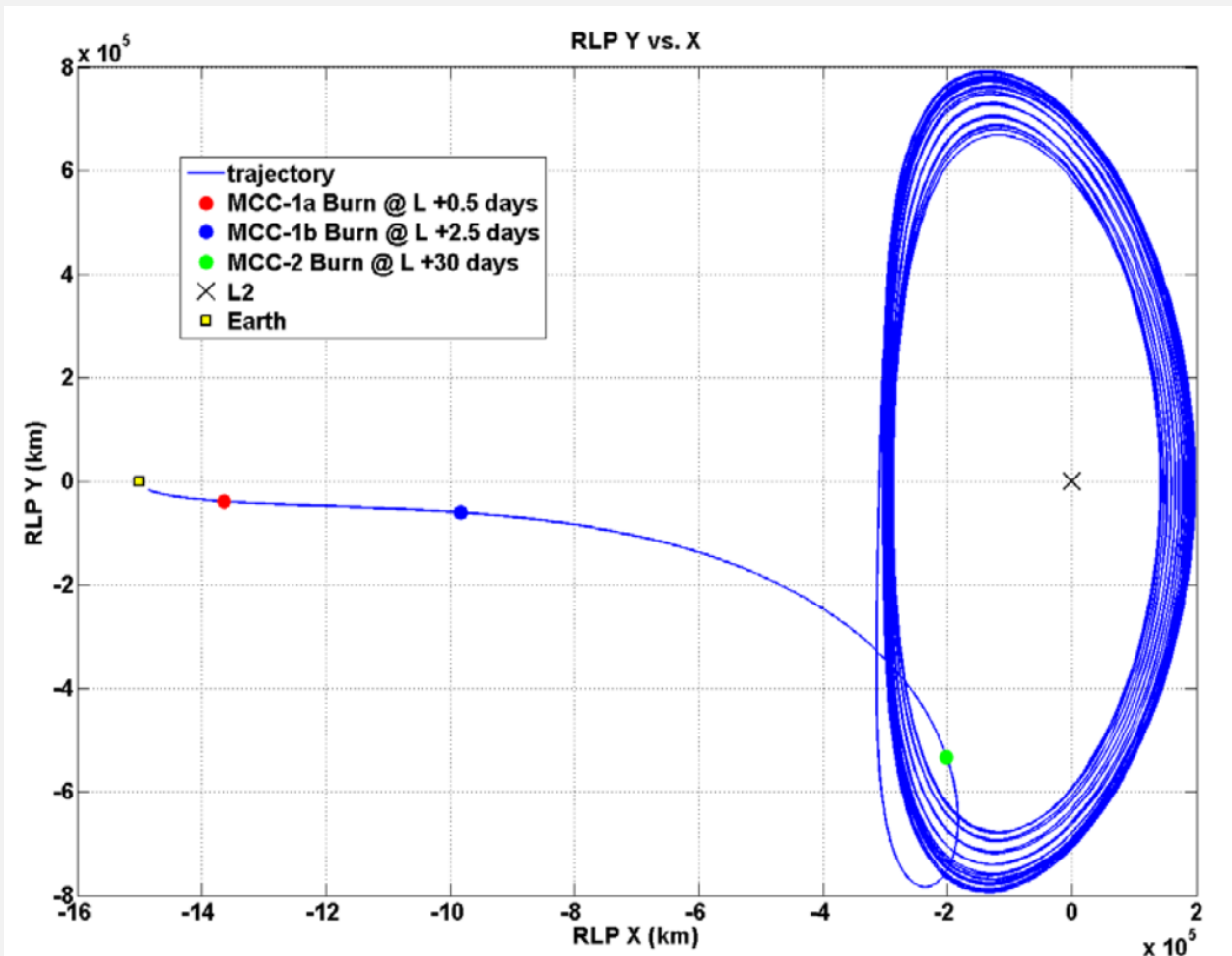


Figura 8 – Il Viaggio verso L2

25 Dec 07:50 PM EST / 26 Dec 00:50 UTC

MID COURSE CORRECTION 1a (MCC-1a)

Launch + 2 days / 27 Dec 07:20 PM EST

MID COURSE CORRECTION 1b (MCC-1b)

Launch + 30 days / 24 Jan 02:00 PM EST

MID COURSE CORRECTION 2 (MCC-2)

Orbita Halo

Descrizione

Orbite **tridimensionali** e **periodiche** vicino ai punti di Lagrange che risolvono sempre il problema dei tre corpi ristretto.

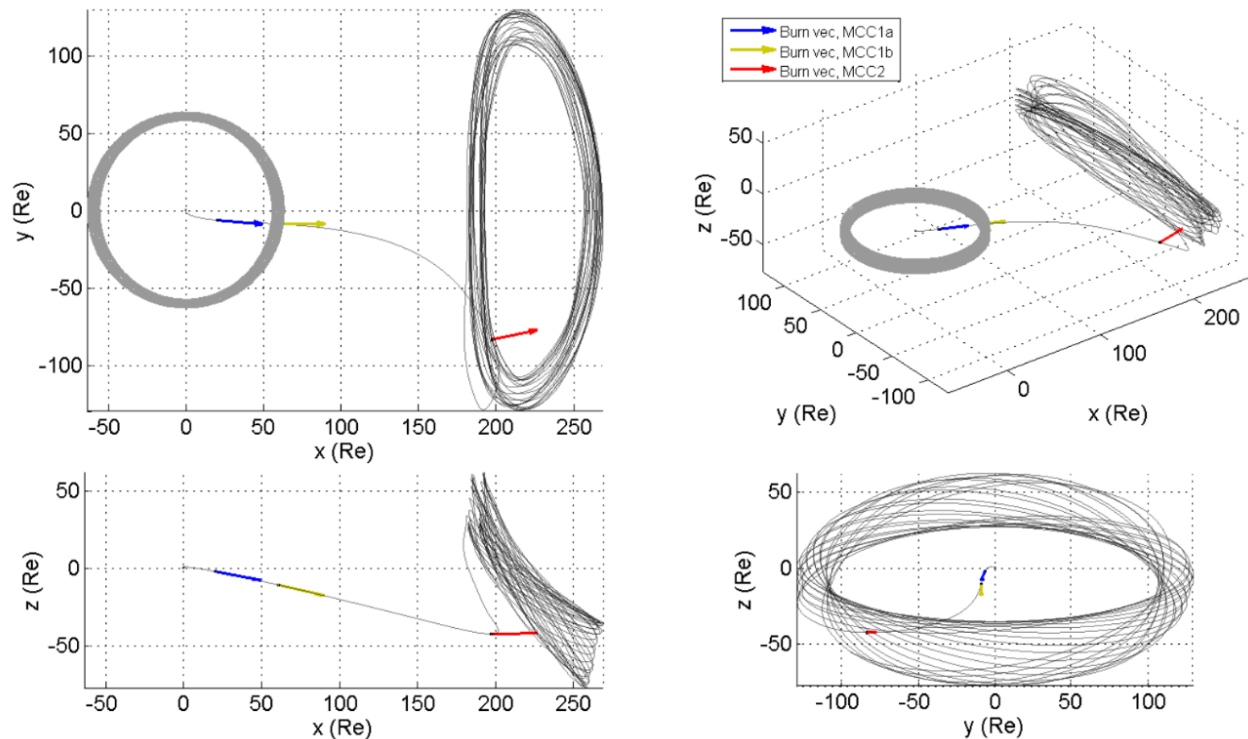


Figura 13 – Visioni dell'orbita Halo percorsa dal James Webb Space Telescope

Orbita Halo percorsa da Webb

- **Forma ellittica**
- **Distanza rispetto a L2 che varia tra i 250.000 km e i 832.000 km**
- **Periodo di circa 6 mesi**
- **Velocità orbitale di circa 1 Km/s**
- **Inclinazione di 33 gradi rispetto al piano dell'eclittica**
- **Distanza massima dalla Terra di 1.8 milioni di km**
- **Rispetto al piano dell'eclittica l'orbita si sposta sopra e sotto di 520.000 km**

Orbita Halo

Vantaggi

- Pannello solare sempre funzionante
- Stabilità termica
- Bassa velocità di rotazione

Quest'ultimo fatto è stato utile per **posizionare il James Webb in orbita** e, in aggiunta, rende molto **meno dispendioso il mantenimento orbitale**

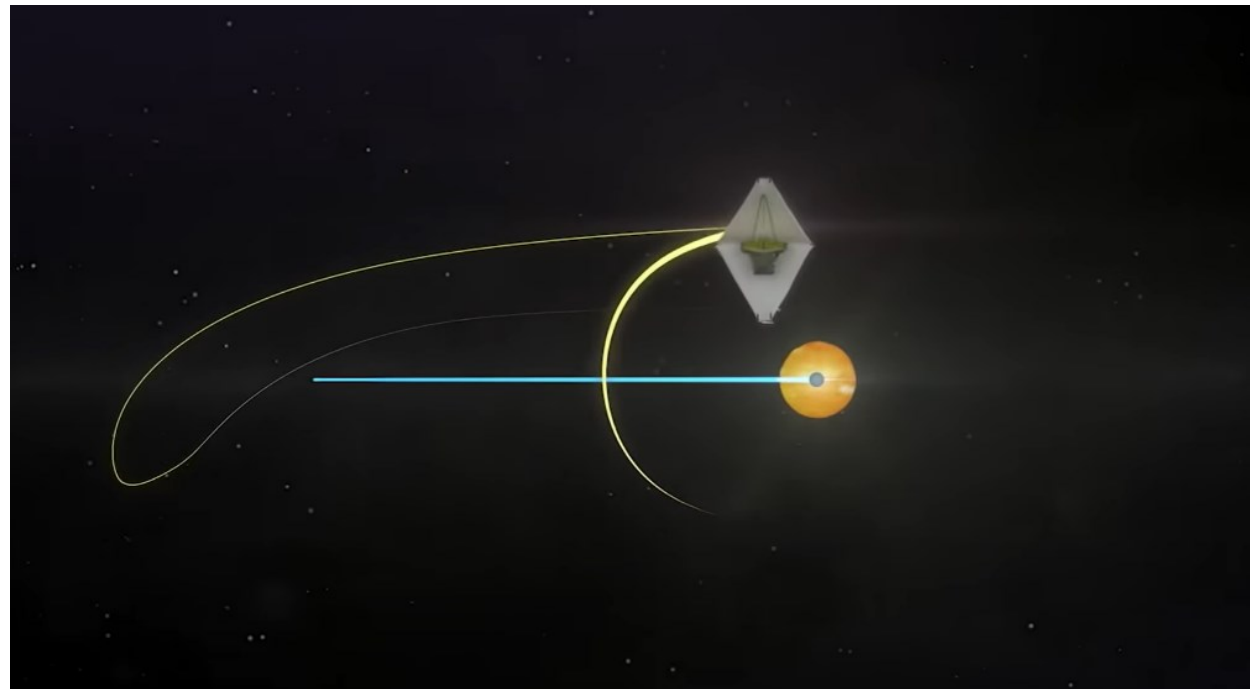


Figura 14 – Visione dall'orbita Halo

Mantenimento Orbitale

L'osservatorio sarà principalmente soggetto agli **effetti gravitazionali di altri pianeti** e alla **pressione solare**. Per contrastare ciò, il James Webb Space Telescope possiede il **sottosistema di controllo d'assetto (ACS)** che misura la dinamica d'assetto del telescopio e invia le informazioni a terra. I piani di manovra vengono eseguiti ogni 21 giorni

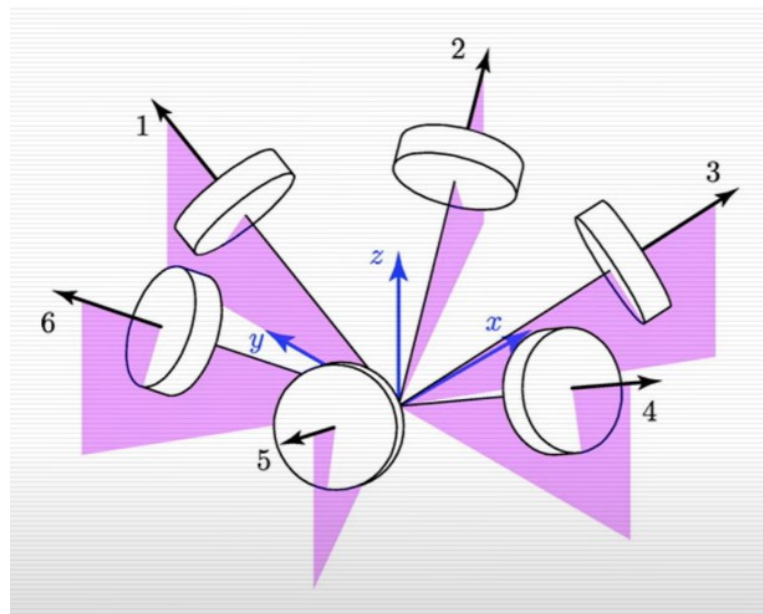


Figura 15 – Le sei Reaction Wheels

View of the Bus
From the -J3
Direction

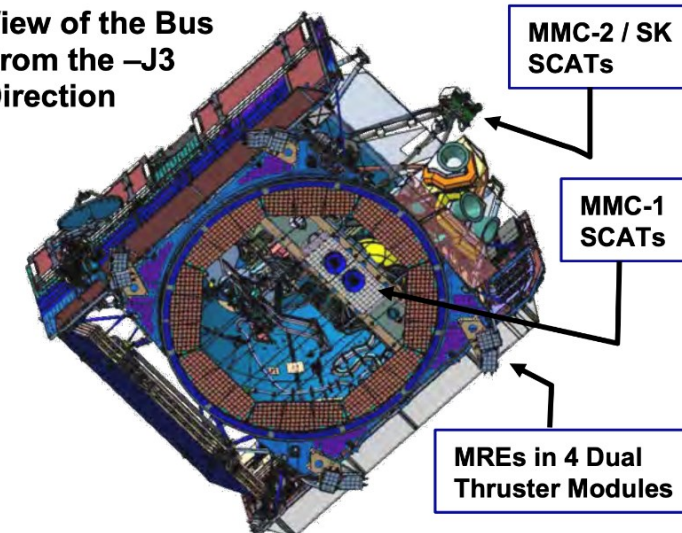


Figura 16 – I Thrusters

- Abouelmagd, E. I., Pal, A. K., & Guirao, J. L. G. (2021). Analysis of nominal halo orbits in the Sun–Earth system. *Archive of Applied Mechanics*, 91(12), 4751-4763.
- Cacolici, G. N., Hanson, J., Lejoly, C., & Pearson, K. Stability of Lagrange Points: James Webb Space Telescope. *The University of Arizona*.
- Curtis, H. (2013). *Orbital mechanics for engineering students*. Butterworth-Heinemann.
- JWST – User Documentation (2022). JWST Orbit disponibile su <https://jwst-docs.stsci.edu/jwst-observatory-characteristics/jwst-orbit>
- JWST – User Documentation (2022). JWST Attitude Control Subsystem disponibile su <https://jwst-docs.stsci.edu/jwst-observatory-hardware/jwst-spacecraft-bus/jwst-attitude-control-subsystem>
- JWST – User Documentation (2022). JWST Momentum Management disponibile su <https://jwst-docs.stsci.edu/jwst-observatory-hardware/jwst-momentum-management>
- NASA. Webb Telescope Launch Media Kit
- NASA, James Webb Space Telescope - Goddard Space Flight Center (2021). The Webb Observatory. Disponibile su <https://jwst.nasa.gov/content/observatory/index.html>
- NASA, James Webb Space Telescope - Goddard Space Flight Center (2021). The First Mid-Course Correct Burn <https://blogs.nasa.gov/webb/2021/12/25/the-first-mid-course-correction-burn/>
- NASA, James Webb Space Telescope - Goddard Space Flight Center (2021). More Than You Wanted to Know About Webb’s Mid-Course Corrections! Disponibile su <https://blogs.nasa.gov/webb/2021/12/27/more-than-you-wanted-to-know-about-webbs-mid-course-corrections/>
- Petersen, J. (2019, August). L2 Station Keeping Maneuver Strategy for the James Webb Space Telescope. In *2019 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference* (No. GSFC-E-DAA-TN71319).
- Webb Space Telescope (2022). Image Resources disponibile su <https://webbtelescope.org/resource-gallery/images>

- Figura 1- <https://webbtelescope.org/resource-gallery/images>
- Figura 2 - <https://webbtelescope.org/resource-gallery/images>
- Figura 3 - <https://webbtelescope.org/resource-gallery/images>
- Figura 4 - <https://www.google.com/maps/place/Centre+spatial+guyanais/@-9.023698,-59.4397536,4.61z/data=!4m5!3m4!1s0x8d0e034849f48609:0x72a5e4be3a8007a9!8m2!3d5.1673328!4d-52.6832152>
- Figura 5 - <https://www.webb.nasa.gov/content/webbLaunch/assets/documents/WebbMediaKit.pdf>
- Figura 6 - <https://www.webb.nasa.gov/content/webbLaunch/assets/documents/WebbMediaKit.pdf>
- Figura 7 - <https://webbtelescope.org/resource-gallery/images>
- Figura 8 - https://issfd.org/ISSFD_2014/ISSFD24_Paper_S2-6_Yu.pdf
- Figura 9 - <http://www.nssc.ac.cn/wxzygx/weixin/201607/P020160718380095698873.pdf>
- Figura 10 - <https://solarsystem.nasa.gov/faq/88/what-are-lagrange-points/#:~:text=Of%20the%20five%20Lagrange%20points,large%20masses%20at%20their%20vertices>
- Figura 11 - <https://i0.wp.com/articolidiastronomia.com/wp-content/uploads/2013/02/lagpoint.png>
- Figura 12 - https://it.wikipedia.org/wiki/Punti_di_Lagrange#/media/File:L2_rendering-it.jpg
- Figura 13 - https://issfd.org/ISSFD_2014/ISSFD24_Paper_S13-2_Petersen.pdf
- Figura 14 - <https://www.youtube.com/watch?v=6cUe4oMk69E>
- Figura 15 - <https://www.youtube.com/watch?v=l0qDmfKBmpQ>
- Figura 16 - <https://danielmarin.naukas.com/2021/12/26/lanzado-con-exito-el-telescopio-espacial-james-webb/>