

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

Relazione per la prova finale

*James Webb Space Telescope:
un'analisi dettagliata della messa in orbita del più
grande telescopio spaziale mai costruito*

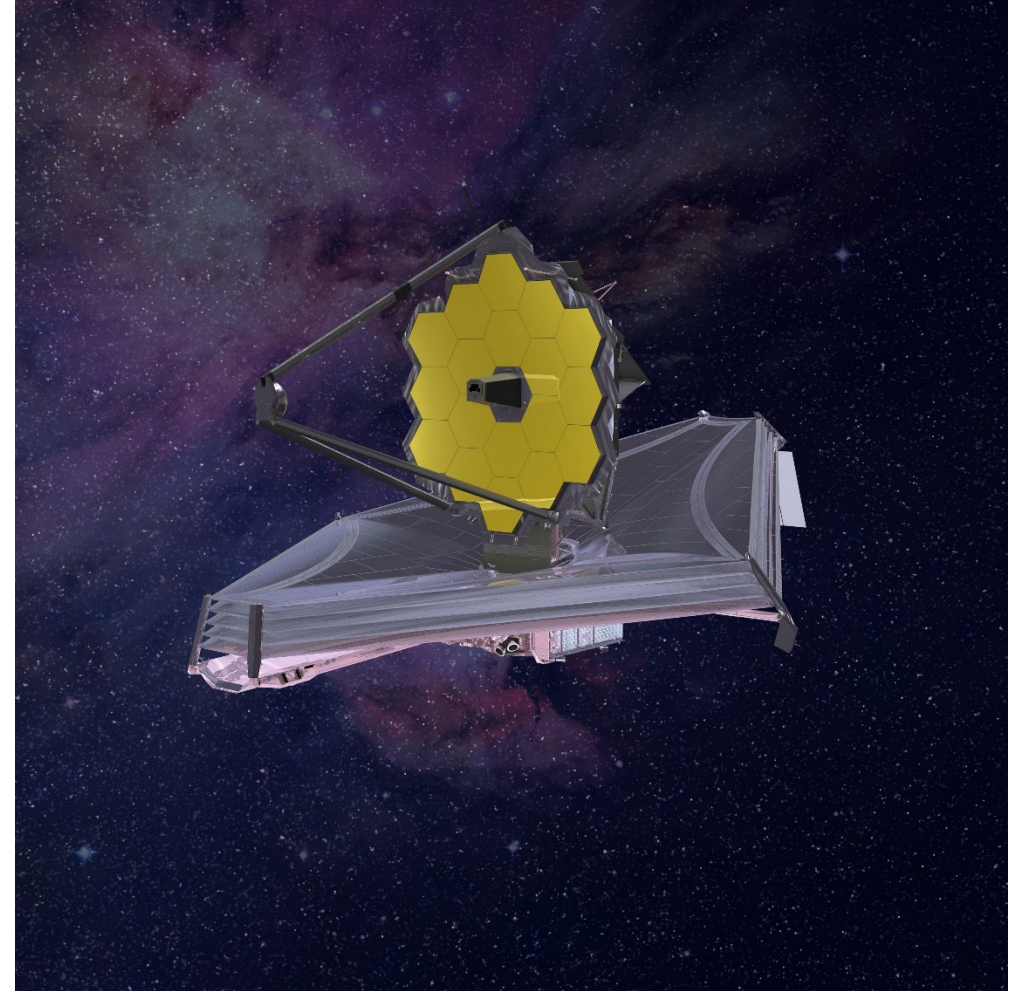
Tutor universitario:
Prof. Luca Malavolta

Laureando:
Jacopo Abbadessa

Padova, 3/11/2022

OBIETTIVI

- analisi delle operazioni connesse con la **messa in orbita e l'attivazione nello spazio dell'osservatorio** evidenziando le eventuali criticità attraverso una ricerca bibliografica di articoli scientifici e informazioni specifiche
- presentazione dei primi risultati ottenuti grazie alle immagini registrate nei primi mesi di attività.



James Webb Space Telescope (esahubble.org)



Prima idea del telescopio ad infrarossi (webbtelescope.org)

NASA ESA CSA

1989 primo design al Next Generation Space Telescope Workshop

1999 fase di preliminary analysis

2002 prende il nome di James Webb Space Telescope

2005 scelto lanciatore Ariane 5

2007 prima data di lancio prevista

25 dicembre 2021 lancio dallo spazioporto dell'ESA in Guyana Francese

3 COMPONENTI PRINCIPALI

Optical Telescope Element

specchi primario, secondario, terziario e fine steering mirror

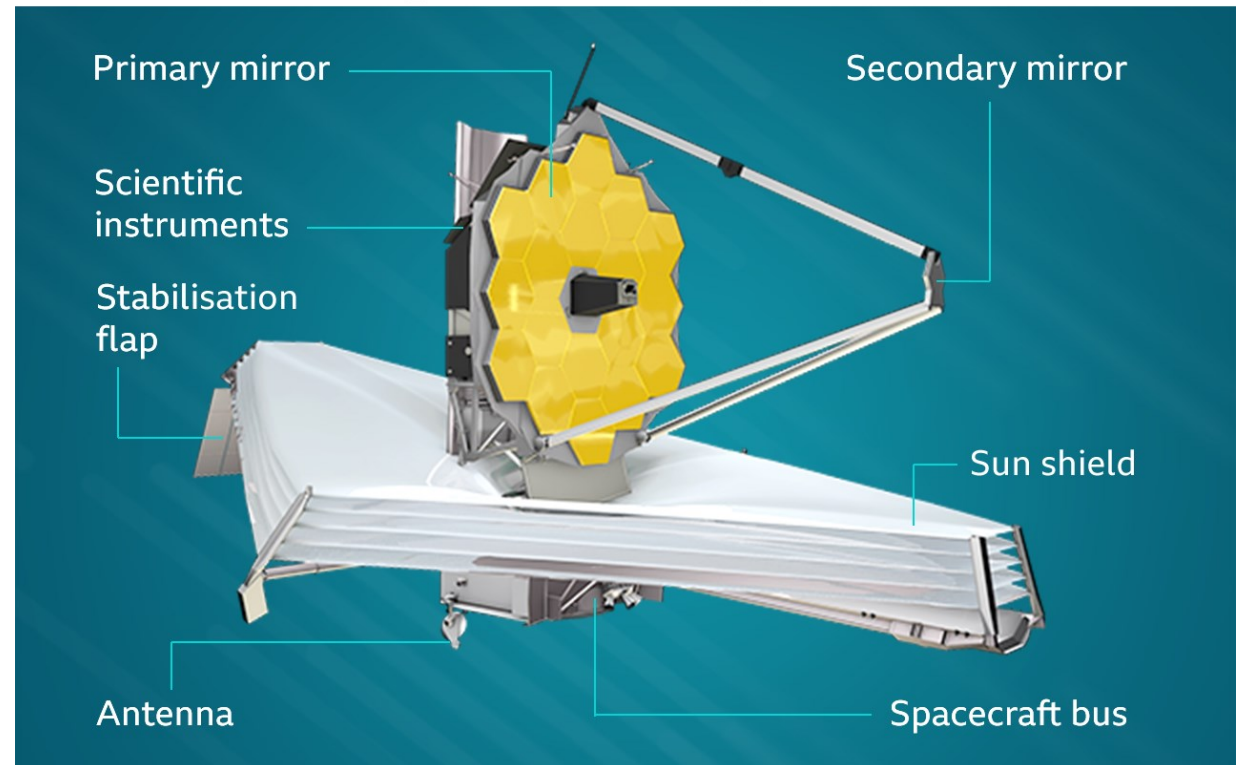
Integrated Science Instrument Module

- Near Infrared Camera (NIRCam)
- Near Infrared Spectrograph (NIRSPEC)
- Mid-Infrared Instrument (MIRI)
- Near Infrared Imager e Slitless Spectrograph / Fine Guidance Sensor

Spacecraft Element

Composto dallo scudo solare e dal bus, più vari sottosistemi del satellite

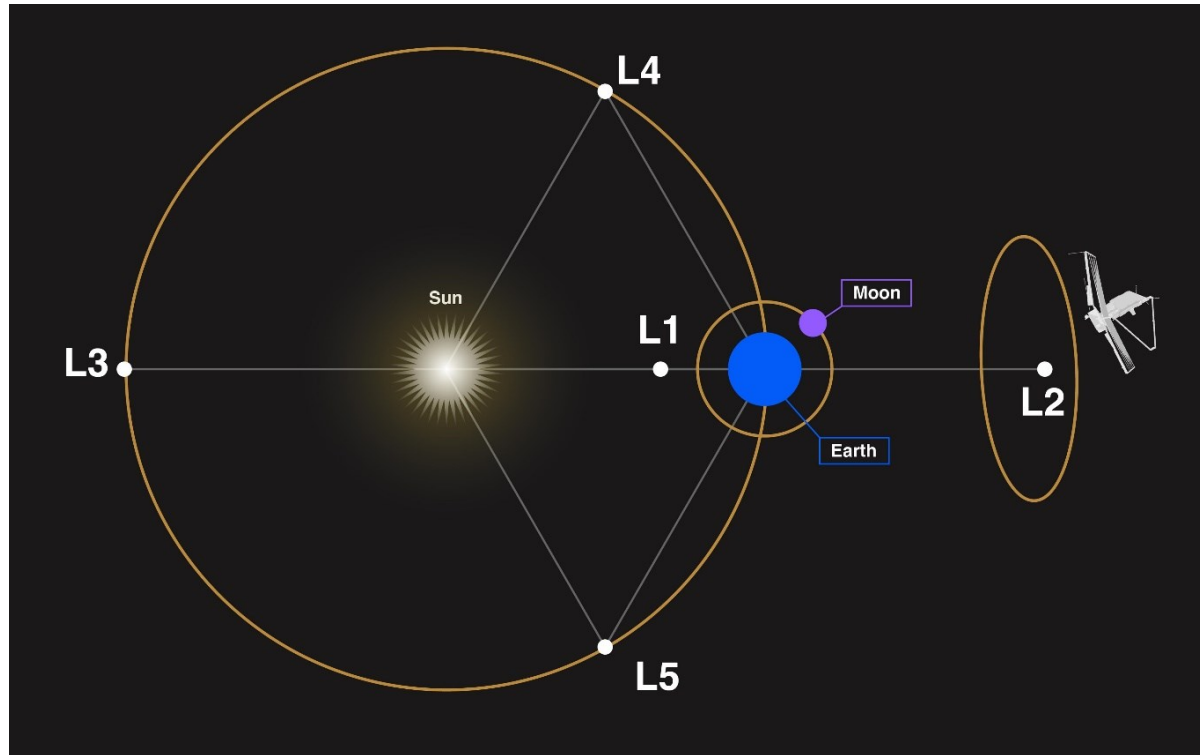
James Webb Space Telescope



Source: Nasa

JWST (nasa.gov)

B B C



Punti Lagrangiani (webb.nasa.gov)

L'orbita del telescopio è un'orbita Halo composta da due moti:

- Rotazione attorno al sole nel punto lagrangiano L2;
- Rotazione attorno al punto stesso

Vantaggi:

- Allineamento con la Terra ed il Sole
- Posizione quasi costante nel cielo di mezzanotte
- Orbita libera da detriti

Svantaggi:

- Impossibilità di manutenzione
- Manovre di station keeping

Distanza dalla Terra: JWST 1,5 milioni di km, HST 570 km

Ariane 5

- Alte prestazioni e precisione
- Due stadi principali ad idrogeno ed ossigeno
- Due booster a combustibile solido forniscono il 90% della spinta

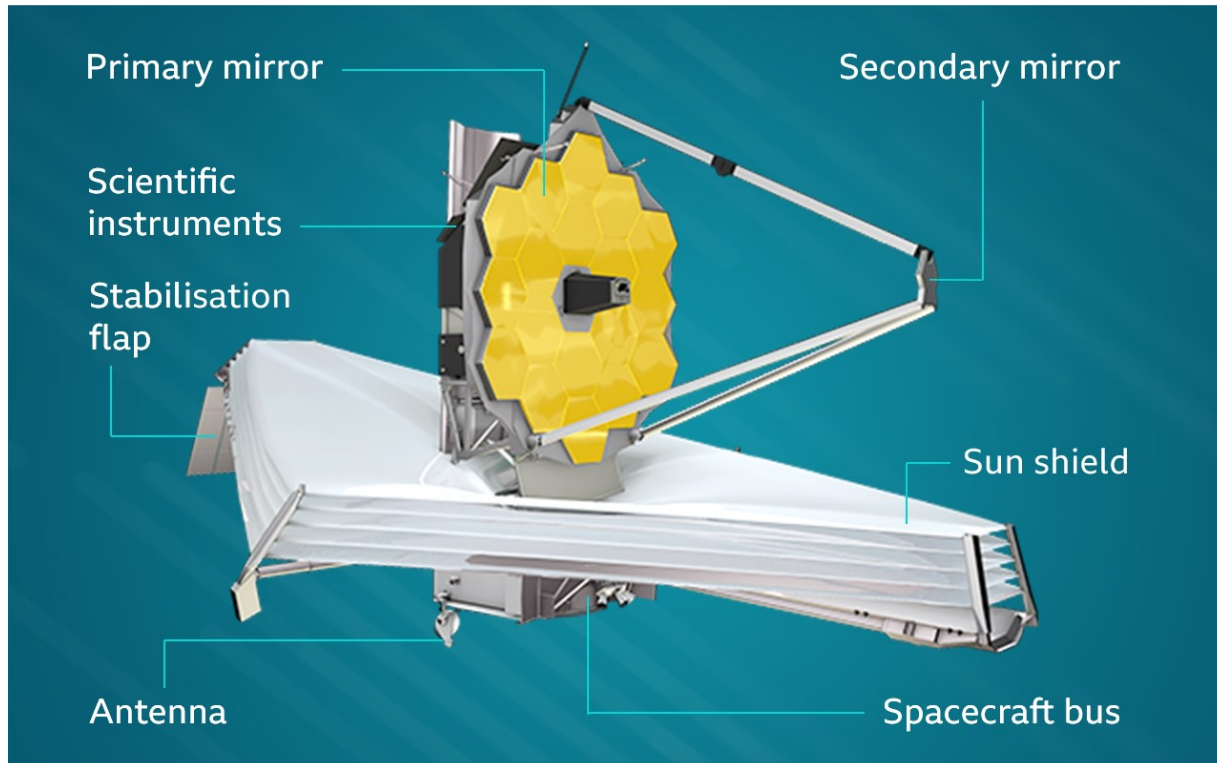


Modifiche su misura

- Adattatore su misura
- Pulizia della carenatura
- Valvole di sfiato
- Manovra di rollio per evitare l'esposizione solare
- Manovra per evitare la collisione con il secondo stadio

JWST caricato su Ariane 5(arianespace.com)

James Webb Space Telescope



Source: Nasa

B B C

JWST (nasa.gov)



JWST ripiegato (jwst.nasa.gov)

Liftoff! - 25 dicembre 2021 lancio Ariane 5 Centro Spaziale della Guyana

26 minuti - Rilascio JWST ancora completamente ripiegato ma già sulla traiettoria che lo porta verso la sua orbita attorno il punto L2.

33 minuti - Apertura automatica dei pannelli solari

12 ore - MCC1a La traiettoria viene aggiustata grazie ai piccoli propulsori di bordo.

La spinta ricevuta dal lanciatore è intenzionalmente di poco inferiore a quella necessaria per arrivare all'orbita desiderata.

La MCC1a è solo la prima di tre correzioni nonché la più importante in quanto è l'unica tempo-dipendente.

1 giorno - Dispiegamento automatico antenna ad elevata velocità di trasmissione dati nella posizione finale puntata verso la terra.

Da questo momento tutti i passaggi successivi sono controllati dal centro di comando sulla Terra.

2 giorni - MCC1b In base ai dati ricevuti a Terra relativi alla traiettoria effettiva, direttamente dipendenti dalle prestazioni fornite in partenza dal lanciatore, viene calcolata ed eseguita la seconda correzione della traiettoria.

3 giorni - Un piccolo motore elettrico apre le **strutture anteriori e posteriori** di sostegno delle membrane che compongono lo scudo solare.

4 giorni - DTA (Deployable Tower Assembly) Il sistema di collegamento tra gli strumenti ottici e lo scudo solare è composto da una torretta estensibile. Quest'ultima si allunga fino a 1,22 metri, distanziando i due gruppi per fornire un miglior controllo della temperatura e lasciare spazio per l'apertura delle membrane.

5 giorni - Flap di momento (Aft Momentum Flap) Questo elemento del satellite serve per minimizzare l'utilizzo di carburante per correzioni orbitali durante la missione e serve a bilanciare la rotazione indotta dalla pressione dei fotoni.

Lo scudo solare del James Webb, infatti, è come un'enorme vela che cattura il vento solare.

5-10 giorni - messa in opera dello scudo solare. Innanzitutto, tramite degli attuatori elettrici, viene rimossa la copertura delle membrane che ha protetto lo scudo durante le operazioni di terra ed il lancio.

Inizialmente i sensori che avrebbero dovuto dare conferma del completamento di queste operazioni non hanno funzionato correttamente, **ritardando leggermente** la fase successiva avviata grazie alle conferme di fonti secondarie e terziarie.

Uno alla volta vengono quindi aperti i due lati della membrana in Kapton ed estesi i due **bracci allungabili** sui lati, ai quali sono collegate le estremità delle membrane.

Tutti e cinque gli **strati dello scudo termico** devono quindi essere messi in tensione per formare l'equivalente di un grande isolante multi-layer.

Questa è stata la fase più difficile da simulare a terra a causa delle complicate interazioni tra struttura, cavi e membrane.

11 giorni - Apertura del **braccio che sorregge lo specchio secondario**

1,5 mm la tolleranza ammessa per posizionamento dello specchio tramite i tre sostegni lunghi più di 7 metri.

12 giorni – Dispiegamento **radiatore di poppa**, composto da alluminio ad elevata purezza per realizzare una superficie ad alta emissività. Raccoglie il calore della struttura del telescopio e lo irradia verso l'esterno perché il funzionamento del JWST dipende dal raggiungimento di basse temperature per gli strumenti ottici

14 giorni - Completamento **apertura dello specchio principale**, ripiegato in tre parti nella fase di lancio

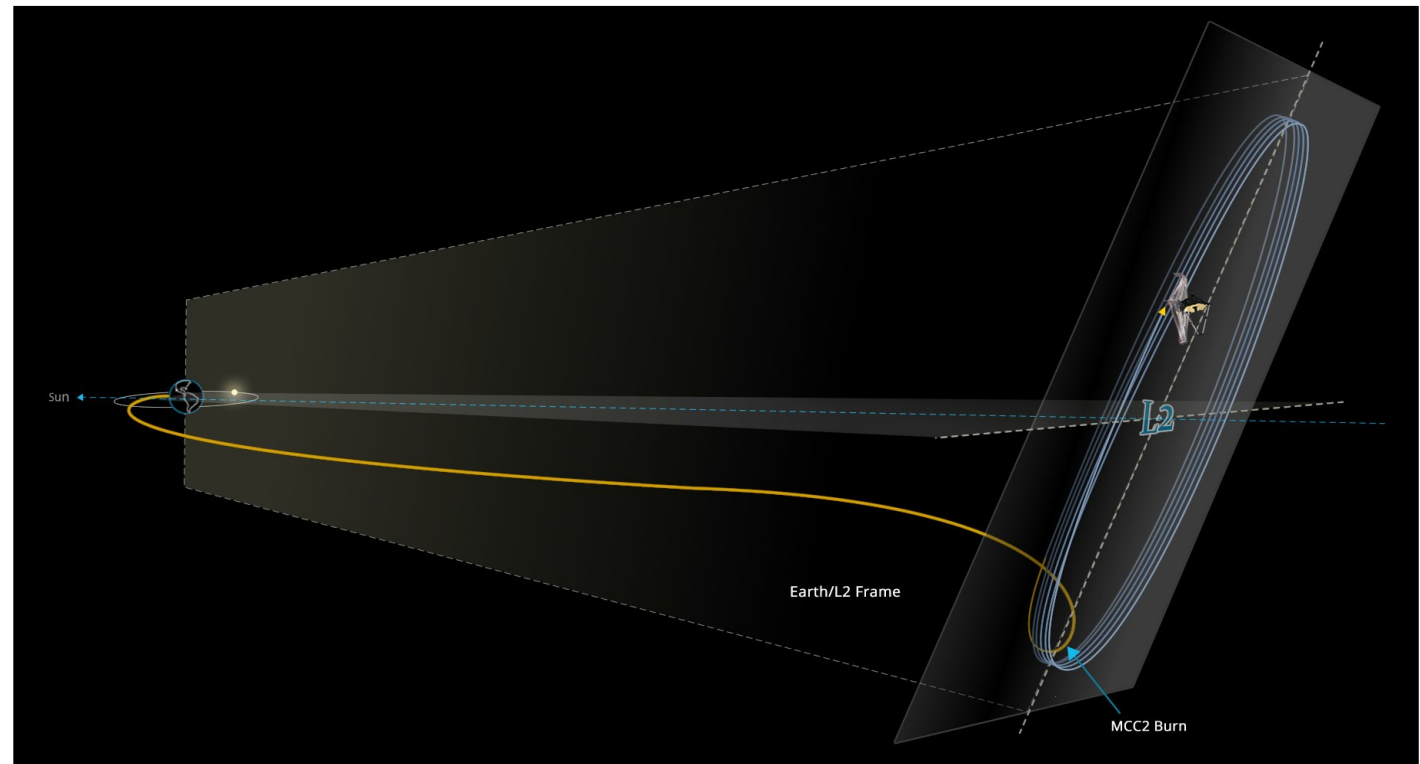
JWST è completamente dispiegato e pronto per passare alle prossime fasi della missione,

18-28 giorni - **Movimenti dei singoli segmenti** dello specchio primario e dello specchio secondario dalla configurazione di lancio a quella configurazione di lancio fino a quella operativa.

1 mese - Inserimento orbitale in L2

Ultima correzione di traiettoria, MCC2 inserisce il telescopio nella sua posizione finale nell'orbita Halo attorno al punto lagrangiano L2 del sistema Sole-Terra.

Ottimo risultato per la precisione di lancio dell'Ariane 5 che ha inoltre permesso apertura automatica dei pannelli solari prima del momento limite posto.



Tragitto JWST e trasferimento in orbita (jwst.nasa.gov)

A questo punto l'analisi di missione ha confermato che **il carburante rimasto nel telescopio è sufficiente non solo per i requisiti posti (minimo 5 anni), ma probabilmente riuscirà a prolungare la vita dell'osservatorio spaziale abbondantemente oltre i 10 anni.**

Il carburante è necessario durante la fase operativa per due tipi di manovre:

- station-keeping per tenere Webb nel punto lagrangiano L2
- manovre di desaturazione del momento delle ruote di reazione, ovvero dispositivi formati da dischi rotanti che, tramite l'accelerazione del disco, reagiscono ai disturbi esterni consentendo un puntamento preciso durante la fase operativa.

Allineamento in dettaglio delle ottiche

- NIRCcam a 120 K
- Stella HD 84406
- precisione dell'ordine di 50 nm

7 step per passare **da 18 immagini distorte ad una sola nitida** per NIRCcam

Estensione agli altri strumenti di bordo

Processo **modulare e flessibile** per migliorare la precisione permettendo la ripetizione durante la fase di allineamento e le correzioni durante l'operatività del telescopio

Raffreddamento finale di MIRI a circa 7 K tramite criorefrigeratore a elio, attivato progressivamente in modo da ottenere un raffreddamento controllato ed evitare la formazione di ghiaccio.



18 segmenti ordinati prima dell'allineamento (webb.nasa.gov)

Controllo degli strumenti di bordo

calibrazione degli strumenti ottici di bordo sfruttando diverse sorgenti astronomiche note. È misurata e registrata quanta luce raggiunge i sensori e fatta una calibrazione mappando ciascun pixel del rivelatore.

Fra il 23 e 25 maggio 2022, uno dei segmenti principali dello specchio primario è stato colpito da un **piccolo meteorite**.

Nonostante l'impatto sia stato più grande di quelli previsti in fase di progettazione a Terra, la funzionalità del telescopio non ne ha risentito. Probabilmente l'evento non sarebbe neppure stato rilevato se non fosse proprio per le precise misure della forma dello specchio eseguite ogni 2 giorni.

198 giorni - Prime immagini dal James Webb Space Telescope

Vedere indietro nel tempo

Tramite l'osservazione della radiazione proveniente dagli angoli opposti dell'universo si può vedere lontano nel passato, come mai era stato fatto prima.

La formazione delle galassie

Grazie agli strumenti spettroscopici si può approfondire la formazione delle galassie e buchi neri al centro di esse. Inoltre calcolando la rotazione tramite l'effetto redshift è possibile stimare la materia oscura presente.

Formazione di sistemi planetari e nane brune

L'alta risoluzione dello spettro infrarosso permette di vedere all'interno delle nuvole di polvere e gas dove ha luogo la formazione dei sistemi planetari.

Studio delle nane brune, stelle non abbastanza grandi da accendere la fusione nucleare che emettono nell'infrarosso

Atmosfera degli esopianeti

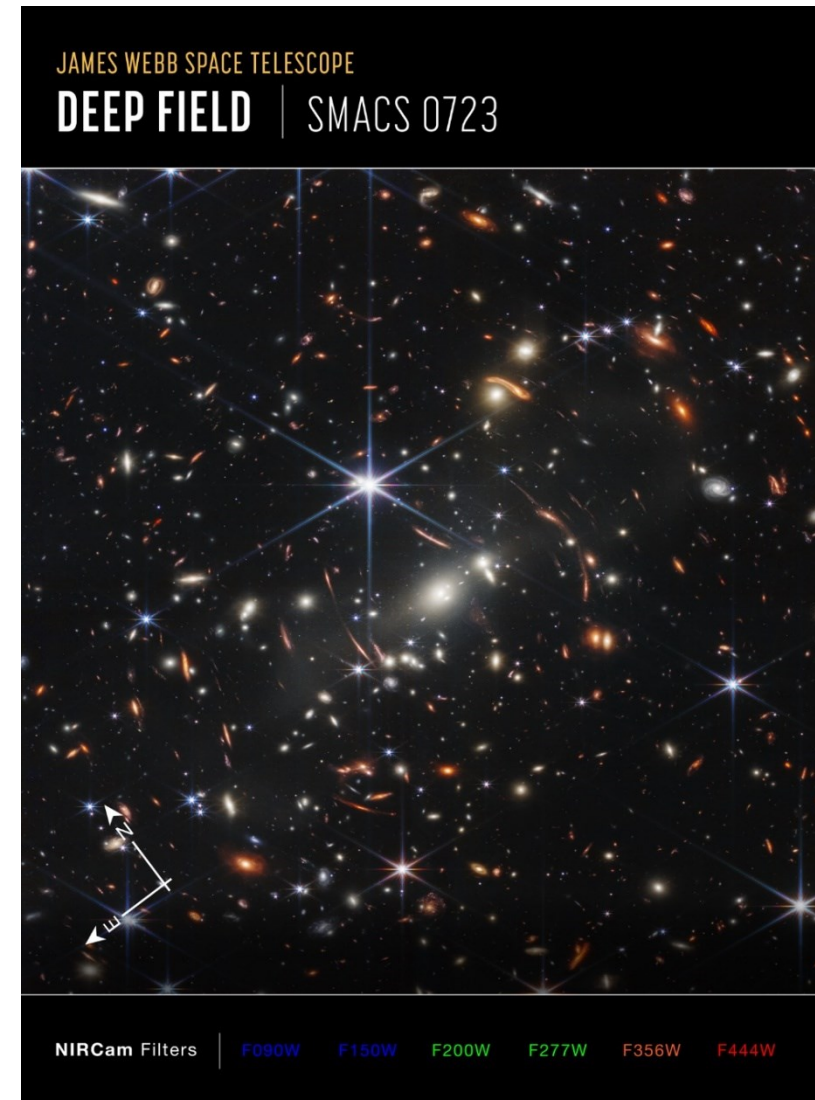
Con le spettrografie si studia l'atmosfera di pianeti lontani in ricerca degli elementi fondamentali per la formazione della vita

Campo profondo: SMACS 0723 ammasso di galassie, distante 4,6 miliardi di anni luce. JWST ha catturato nell'infrarosso l'immagine più profonda e nitida dell'universo fino a questo momento.

Nel visibile l'immagine di **Hubble** Ultra Deep Field arriva ad una profondità di **13 miliardi** di anni luce, quindi maggiore di questa immagine, ma con tempi di esposizione di circa 122 giorni, mentre l'immagine del JWST è stata acquisita in 12 ore.

Quindi col tempo JWST sarà in grado di arrivare oltre la profondità di HST compreso l'oggetto più fioco mai catturato da un telescopio.

Catturata con NIRCam



Ammasso di galassie SMACS 0723 (webb.nasa.gov)

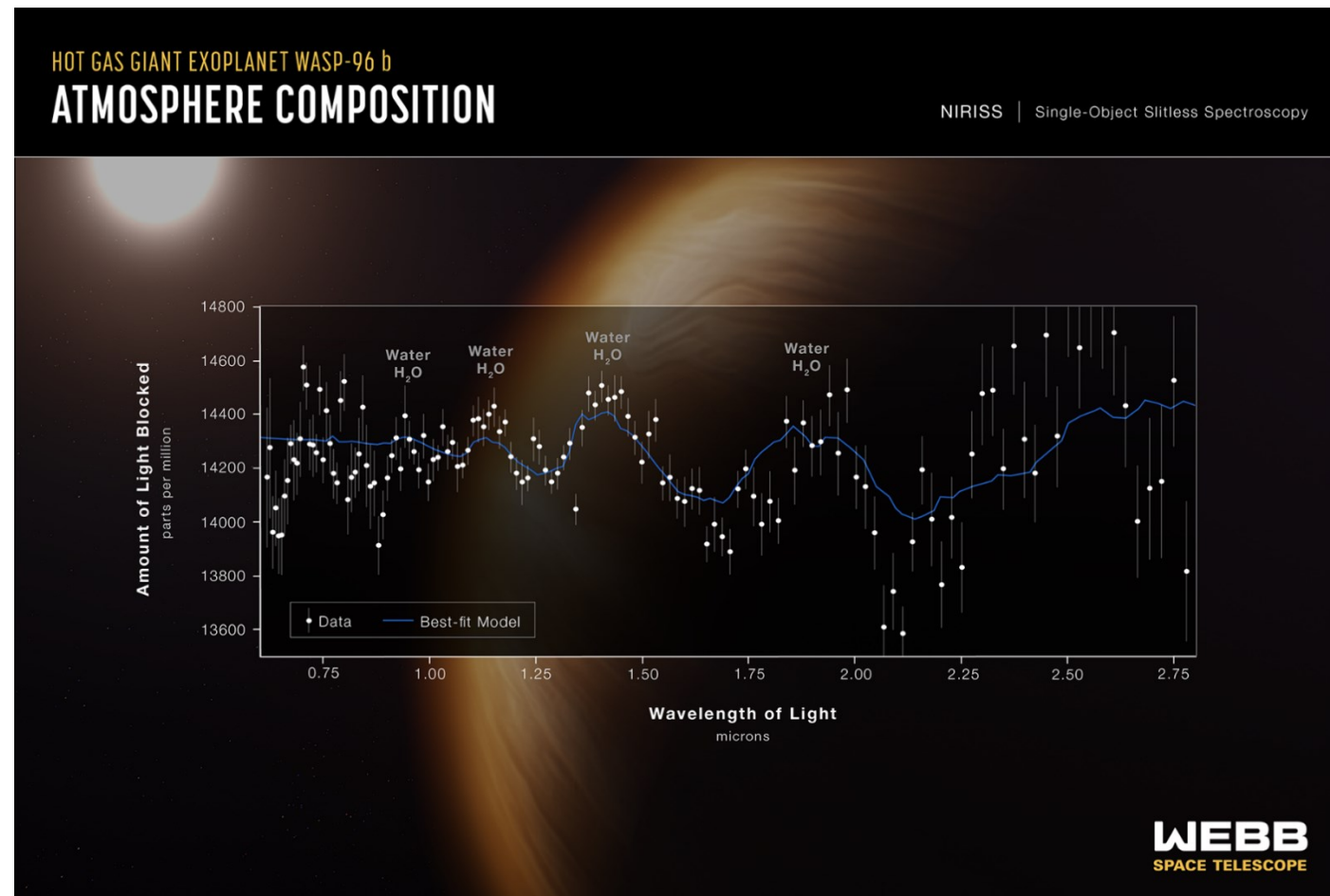
Esopianeta: WASP-96 B

Analisi composizione dell'atmosfera di un pianeta con un dettaglio mai ottenuto in precedenza.

L'atmosfera del pianeta, orbitante attorno ad una stella simile al sole, ha mostrato evidenti segnali della presenza di acqua.

Con le osservazioni dettagliate di Webb si semplifica la ricerca di pianeti distanti centinaia di anni luce che possono ospitare la vita.

Catturata con NIRCam e MIRI.



Esopianeta WASP-96 B (webb.nasa.gov)

Morte stellare: nebulosa planetaria NGC 3132
Conosciuta come nebulosa Anello del sud, si tratta di una stella nelle fasi finali della sua vita, mentre **espelle onde di materiale e gas**.

Con questa immagine JWST ha rivelato il mantello di polvere che circonda la stella, permettendo agli astronomi di studiare la sua composizione.

catturata con NIRCam e MIRI.



Nebulosa planetaria NGC 3132 (webb.nasa.gov)

Galassie interagenti: Quintetto di Stephan
Per studiare le interazioni tra galassie nelle prime fasi dell'universo, JWST ha scattato mille foto separate per ottenere questa immagine del quintetto di Stephan.

La prossimità delle sue galassie permette agli astronomi di studiare la loro evoluzione durante le **collisioni**, compresa la formazione indotta di nuove stelle.

Immagine catturata con NIRCam e MIRI



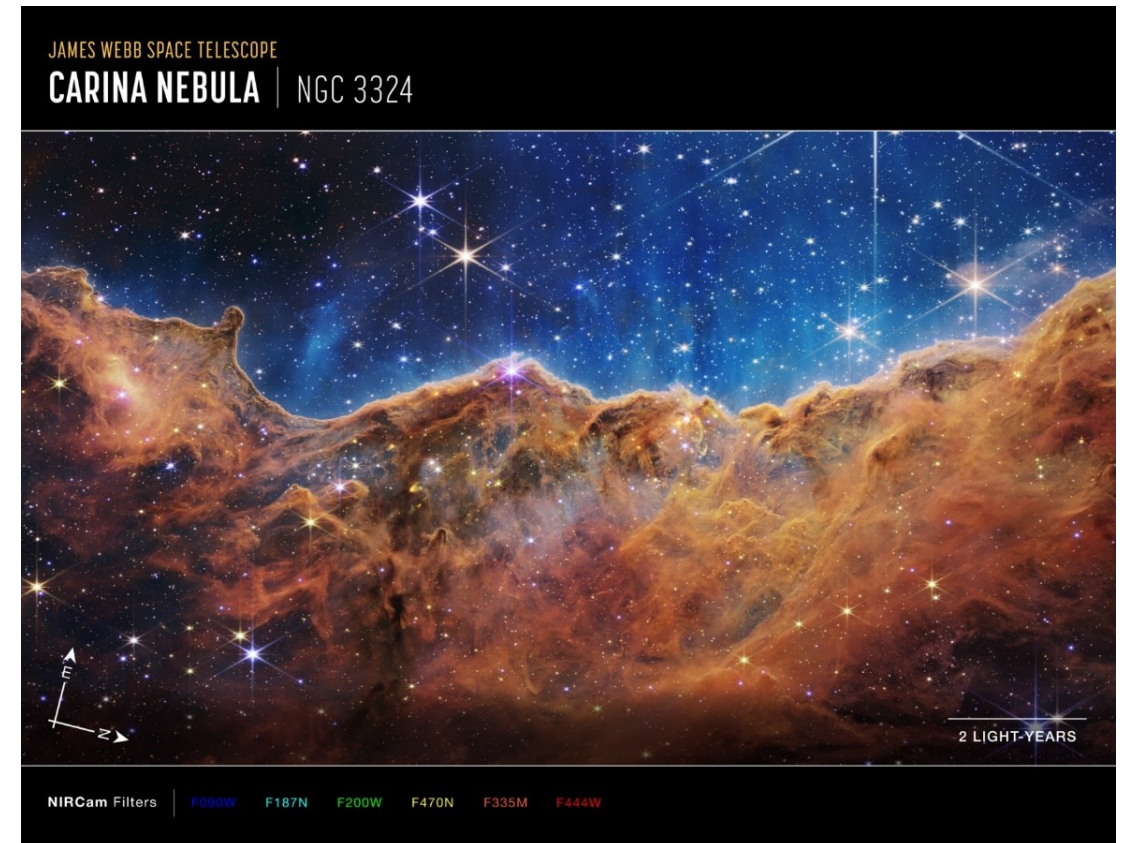
Quintetto di Stephan (webb.nasa.gov)

Zona di formazione stellare: NGC 3342 nella nebulosa Carina

In questa foto JWST fotografa un'area di
nascita stellare precedentemente invisibile.
Questo perché la sensibilità nell'infrarosso gli
permette di vedere attraverso la polvere
cosmica.

La scogliera spaziale che si vede nell'immagine
è il bordo della nuvola di gas e polvere
chiamata nebulosa Carina, grande diversi anni
luce.

Catturata con NIRCam e MIRI.



Nebulosa Carina NGC 3342(webb.nasa.gov)

Criticità nella realizzazione del progetto JWST sulla Terra

- prima data di lancio - prevista nel 2007 - è stata posticipata di ben 14 anni, triplicando il tempo di progettazione del telescopio
- Da budget iniziale di 1 miliardo di dollari a costo finale dichiarato intorno ai 10 miliardi di dollari.

Lancio e deployment senza criticità rilevanti

così come riportato nelle fonti bibliografiche disponibili

Anzi, per la precisione del lancio e il conseguente risparmio di carburante del satellite, si ipotizza una durata di operatività maggiore di quella inizialmente prevista.

Sviluppo tecnologico

diverse tecnologie su misura per soddisfare i requisiti tecnici richiesti dal telescopio.

Alcune di queste hanno già trovato applicazione in altri ambiti. Ad esempio, una tecnologia sviluppata per l'analisi delle imperfezioni delle superfici degli specchi ha trovato applicazione nel campo della chirurgia oculare.

Ad oggi gli Enti coinvolti nel progetto hanno messo a disposizione una grande mole di documentazione a descrizione delle diverse fasi e dei diversi componenti realizzati, ma purtroppo senza dare evidenza delle effettive criticità incontrate.

Sarebbe invece importante avere tali indicazioni perché proprio dalla conoscenza dei problemi si può partire per imparare e trovare nuove soluzioni.

Presente frequente confronto del JWST con il telescopio spaziale Hubble.

I due osservatori spaziali vengono utilizzati in parallelo, integrando le informazioni di Hubble nel campo dell'ottico con quelle di Webb nell'infrarosso. Però non si trovano molti confronti con altri telescopi come l'osservatorio spaziale "Herschel" sviluppato dall'ESA.

Mancanza di informazioni sul destino finale del JWST nel momento in cui smetterà di funzionare.

<https://blogs.nasa.gov/webb/>

<https://esahubble.org/images/heic0611b/>

<https://sci.esa.int/web/jwst/-/33137-cosmology-and-universe>

<https://www.arianespace.com/vehicle/ariane-5/>

<https://www.astrospace.it/2021/12/09/quando-e-perche-il-james-webb-potrebbe-fallire-primadi-arrivare-a-destinazione/>

<https://webbtelescope.org>

<https://www.space.com/21925-james-webb-space-telescope-jwst.html>

<https://webb.nasa.gov>

<https://www.jwst.nasa.gov>

DICHMANN, Donald J.; ALBERDING, Cassandra M.; YU, Wayne H. Stationkeeping Monte Carlo simulation for the James Webb space telescope. In: International Symposium on Space Flight Dynamics 2014.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!