

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

***Relazione per la prova finale
«Il controllo di puntamento del
James Webb Space Telescope»***

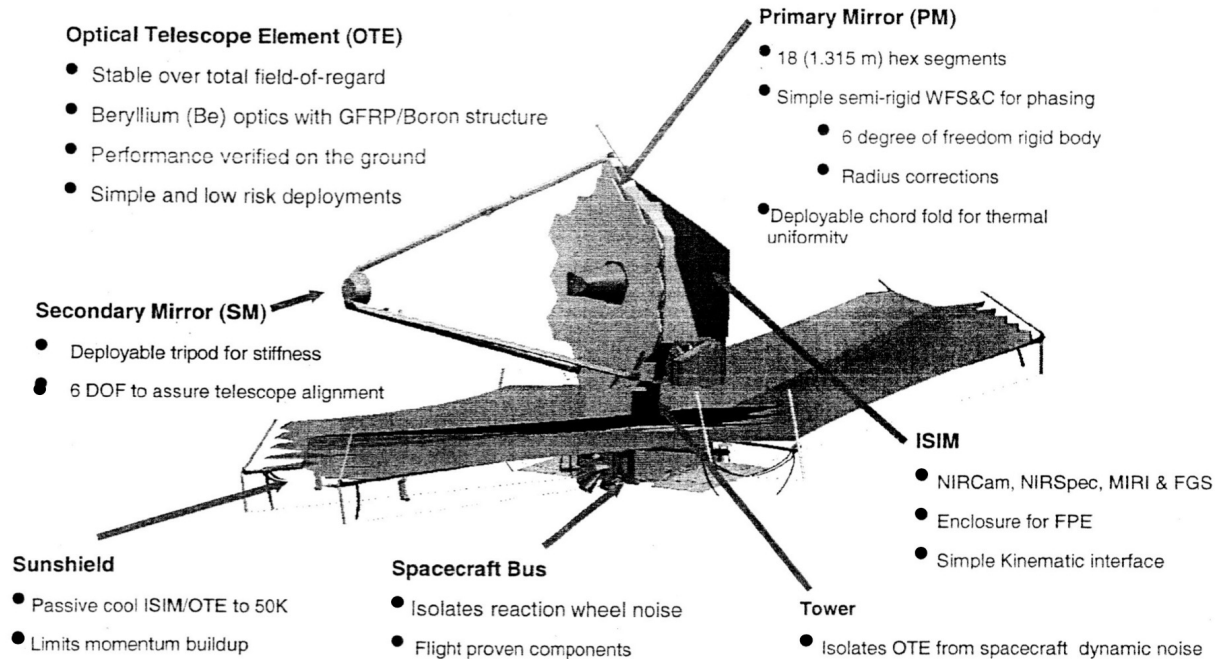
Relatore: *Carlo Bettanini Fecia di Cossato*

Laureando: *Alessandro Morello*

Matr. 1192990

Padova, 18/03/2022

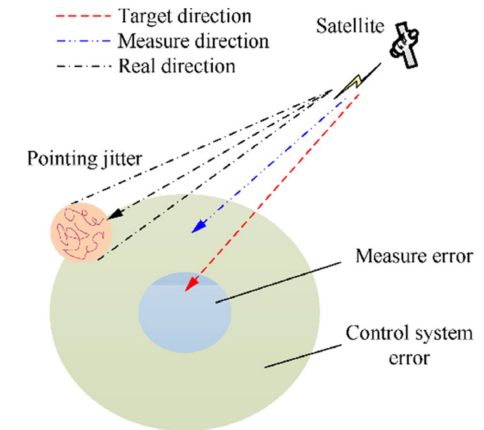
- Obiettivi:
- Osservazione prima luce e reionizzazione
 - Formazione ed evoluzione galassie
 - Studio nascita delle stelle e sistemi protoplanetari
 - Studio nascita dei pianeti e abitabilità



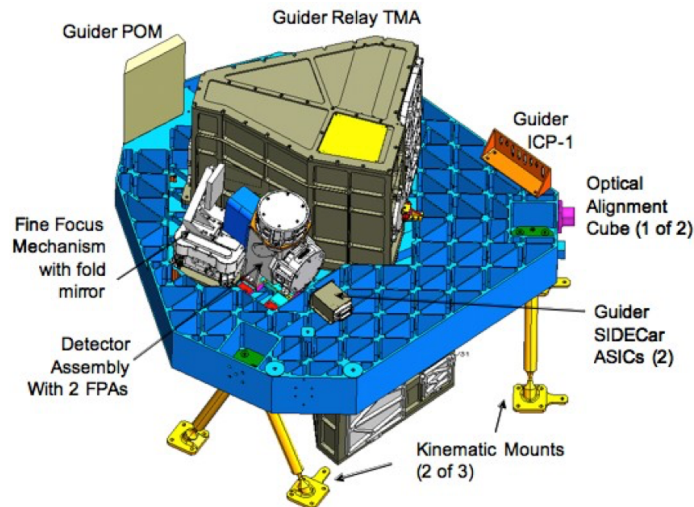
- Orbita attorno ad L2
- No missioni di assistenza
- Notevole riduzione disturbi ambientali
- Osservazioni nell'IR
 - Temperatura bassa
 - Osservazioni diverse da HST
- Configurazione deployable

JWST – "LOS Stabilization of JWST", Luis Meza, Frank Tung, Satya Anandkrishnan Northrop Grumman Space Technology

- Necessario in fase di slewing e per smorzare le vibrazioni
 - Rilevamenti in IR necessitano stabilità e precisione
 - Errori di misurazione, di controllo e di jitter



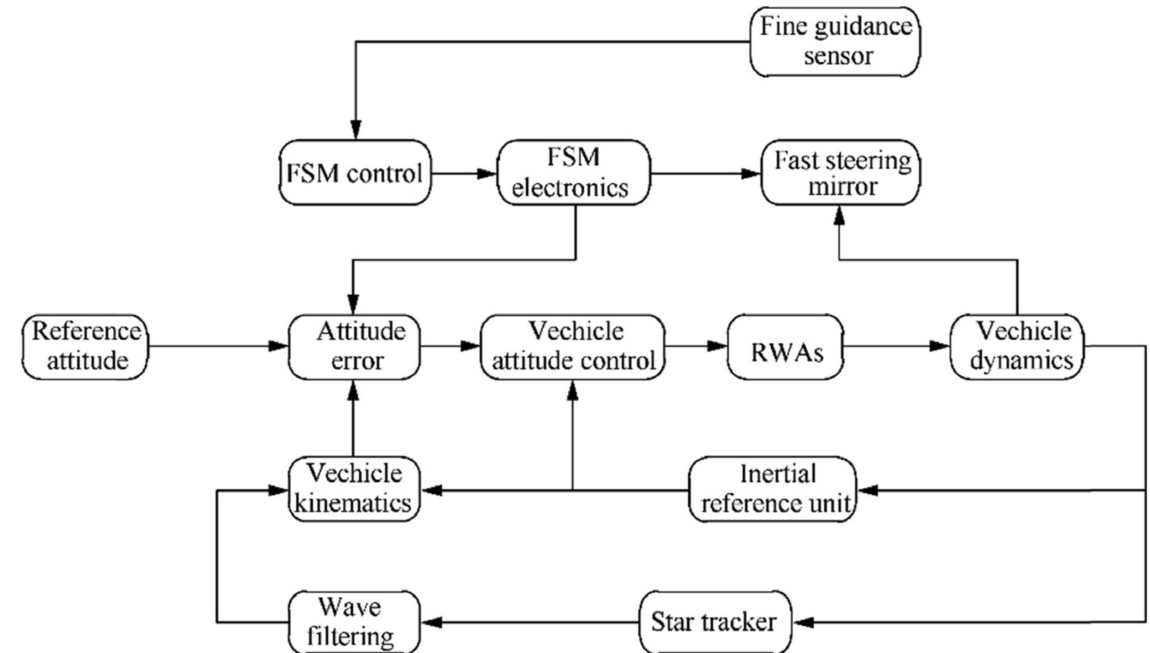
Schema errori di puntamento – "Recent advances in precision measurement & pointing control of spacecraft", Lin LI, Li Yuan, Li Wang



Layout ottico FSG – "JWST Proposal Preparation Oct.2020"

- Puntamento di precisione utilizza Fine Guidance sensors
 - Camera NIR
 - utilizza un POM, un TMA e un Fine Focus Mechanism
 - consente osservazione di target fissi e in moto
 - $0.6\mu m < \lambda < 5.0\mu m$
 - FOV: $2.2' \times 2.2'$

- Multilevel Compound Pointing Control Techniques:
 - smorza microvibrazioni e disturbi
 - più componenti che dialogano tra loro
 - utilizza algoritmo studiato ad hoc
- Three-Levels Control Approaches:
 - controllo d'assetto e di puntamento
 - consente precisione elevata
 - composto di 3 stadi



Architettura del PCS nel caso del James Webb Space Telescope - "Recent advances in precision measurement & pointing control of spacecraft", Lin Li, Li Yuan, Li Wang

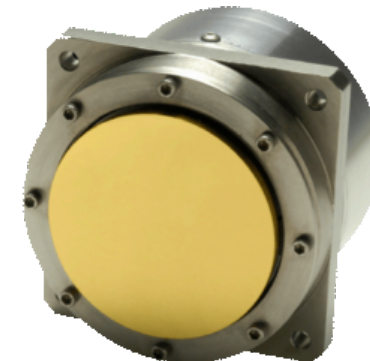
1. Reaction Wheel Assemblies:

- Utilizzate per manovre di slewing
- Mettono in rotazione il satellite nel verso opposto alla loro rotazione
- Necessitano un sistema di dumping



2. Puntone di isolamento:

- Migliora precisione di puntamento
- Isolamento dalle vibrazioni
- Materiale viscoelastico



3. Fast Steering Mirror:

- Stabilizza immagine durante osservazioni
- Posizionato vicino al terziario

→ Sfruttano la conservazione del momento angolare del satellite

$$L_{iniziale} = L_{finale} \quad \rightarrow \quad (J_{RW} + J_{SAT}) \cdot \omega_{TOT} = J_{RW} \cdot \omega_{RW} + J_{SAT} \cdot \omega_{SAT}$$

Posso quindi trovare ω_{RW} da impartire a seconda dell'obiettivo.

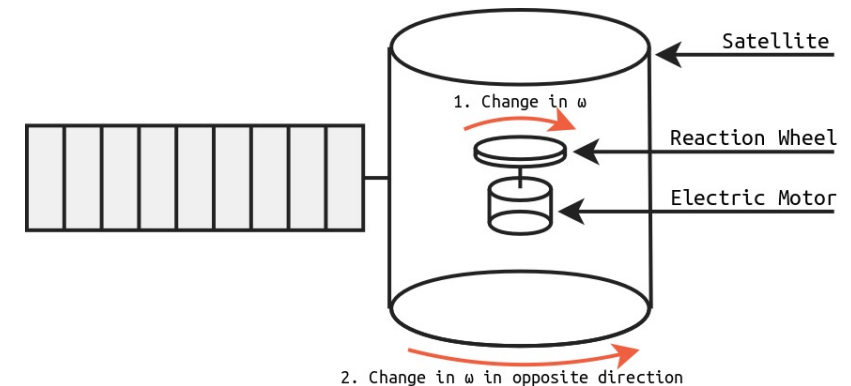
Alcuni esempi:

→ Se $\omega_{TOT} = 0$ il satellite è inizialmente fermo e le velocità sono legate secondo

$$\omega_{RW} = - \frac{J_{SAT}}{J_{RW}} \cdot \omega_{SAT}$$

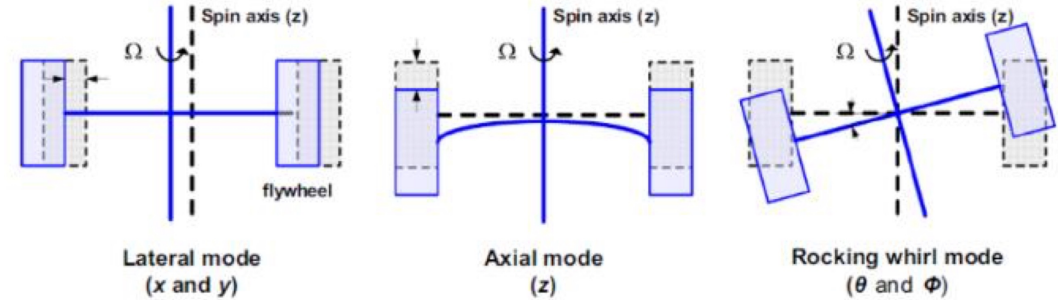
→ Se $\omega_{TOT} \neq 0$ e voglio interrompere la rotazione

$$\omega_{RW} = - \frac{(J_{RW} + J_{SAT})}{J_{RW}} \cdot \omega_{TOT}$$



RW Attitude Control – Charles' Labs

- Vibrazioni causate da disturbi attivi e inerziali
- Tre tipi di disturbi generati



Modi strutturali RW – "A Survey of RW disturbance modeling approaches for SC LOS Jitter performance analysis"

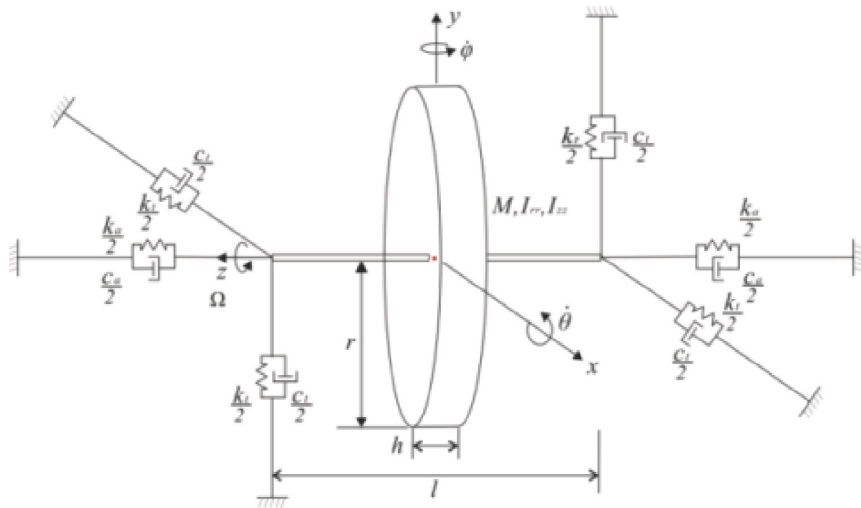
→ Analisi disturbi direzione radiale:

$$\begin{bmatrix} I_{rr} & 0 \\ 0 & I_{rr} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} c_r & 0 \\ 0 & c_r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{pmatrix} + \omega \begin{bmatrix} 0 & I_{zz} \\ -I_{zz} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} k_r & 0 \\ 0 & k_r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \theta \\ \phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \end{pmatrix}$$

Da cui:

$$M_x = k_r \cdot \sum_1^{n_r} \frac{C_i^r \omega^2 h_i^{rr} [2\omega_{ri}^{\pm} \zeta_{ri}^{\pm} \omega_{ri} \sin(\omega_{ri} t) - (\omega_{ri}^2 - (\omega_{ri}^{\pm})^2) \cos(\omega_{ri} t)]}{(h_i^r I_{rr} - I_{zz}) [(\omega_{ri}^2 - (\omega_{ri}^{\pm})^2) + (2\omega_{ri}^{\pm} \zeta_{ri}^{\pm} \omega_{ri})^2]}$$

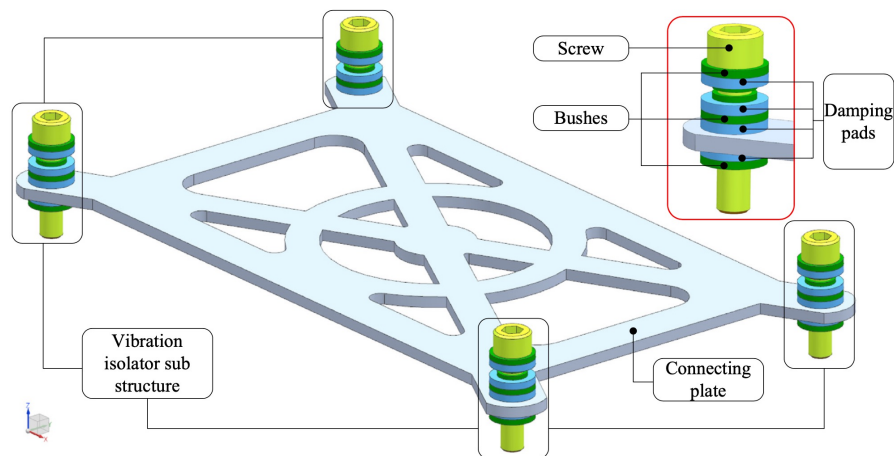
→ Se $\omega_{ri} = \omega_{ri}^{\pm}$ il rapporto di smorzamento controlla completamente risposte e ampiezze



Modello di RW e sistema di coordinate - "Microvibration modelling and testing of a satellite reaction wheel assembly", Z. Zhang, G.S. Aglietti

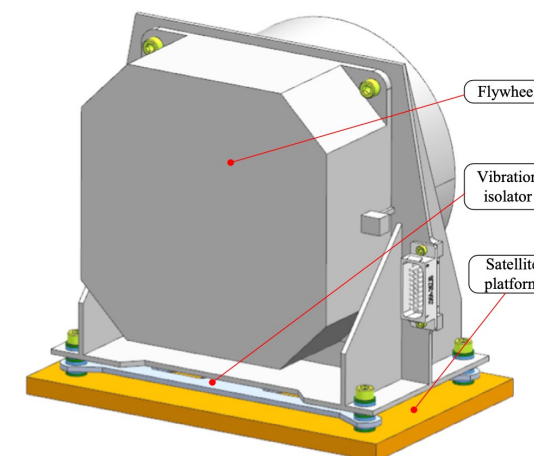
Requisiti:

- Elevata sensibilità e rapporto di smorzamento
- Caratteristiche meccaniche stabili anche dopo moltissimi cicli
- Proprietà meccaniche e chimiche consone per l'ambiente spaziale



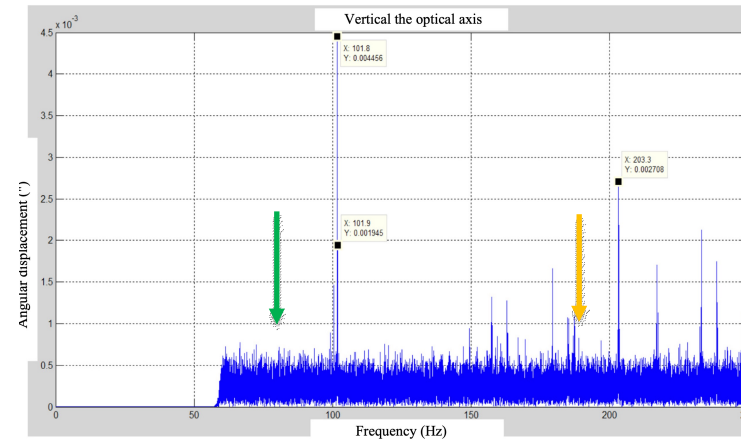
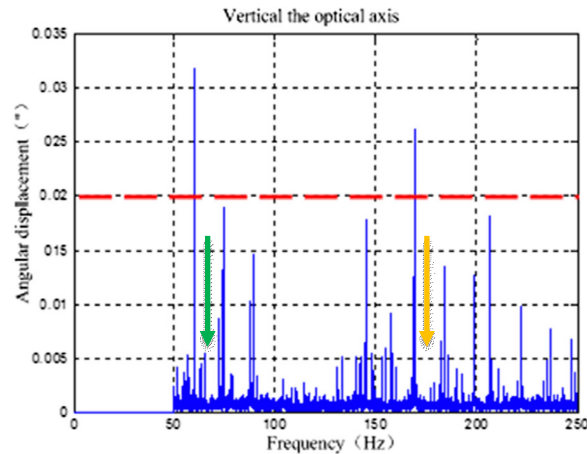
Artistic Model of Vibration Isolation – "Micro-vibration suppression methods and key technologies for high-precision space optical instruments", Lin Li, Li Wuang, Li Yuan

- Rigidità di accoppiamento con RW nulla
- Sottostrutture con tre rigidità verticali
- Sottostruttura: 3 boccole, 4 cuscinetti, vite e pad antivibrante

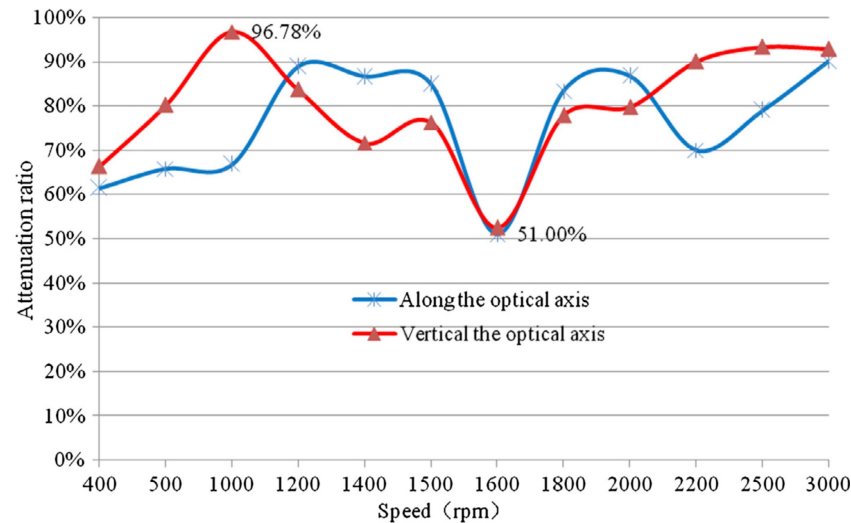


Relazione tra RW, isolante e piattaforma – "The influence of flywheel micro vibration on space camera and vibration suppression", Li Lin, Tan Luyang, Kong Li

→ Esempio degli effetti di un dispositivo di soppressione delle vibrazioni

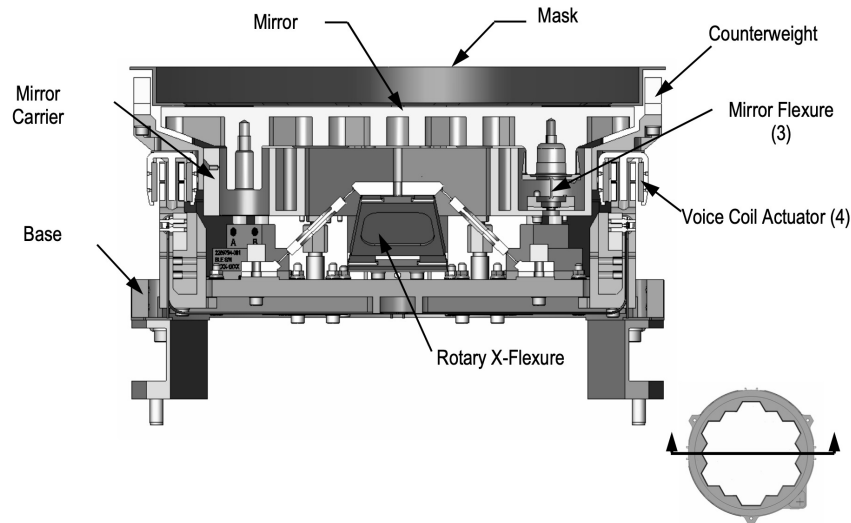


Vibrazione caratteristica SM prima e dopo l'applicazione di un soppressore di vibrazioni – "The influence of flywheel micro vibration on space camera and vibration suppression", Li Lin, Tan Luyang, Kong Li



- Effetti concentrati tra 60-80 Hz e 170-230 Hz
- Rapporto di attenuazione sempre superiore al 50%
- Minimo alla velocità di 1600 giri al minuto

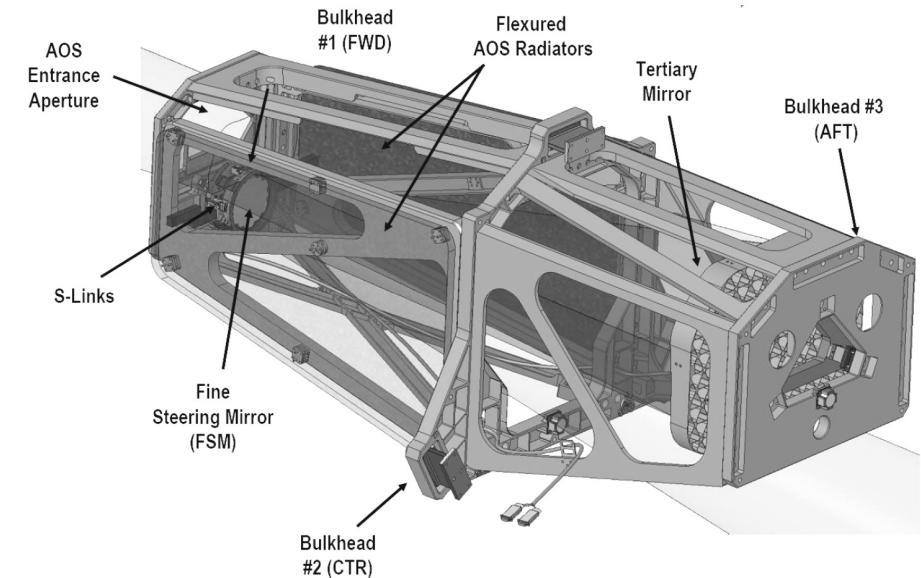
Rapporto di riduzione del discostamento dal modello di controllo predittivo dopo l'installazione del soppressore di vibrazioni – "The influence of flywheel micro vibration on space camera and vibration suppression", Li Lin, Tan Luyang, Kong Li



Sezione trasversale FSM - "FSM for JWST", Miroslav Ostaszewski, William Vermeer

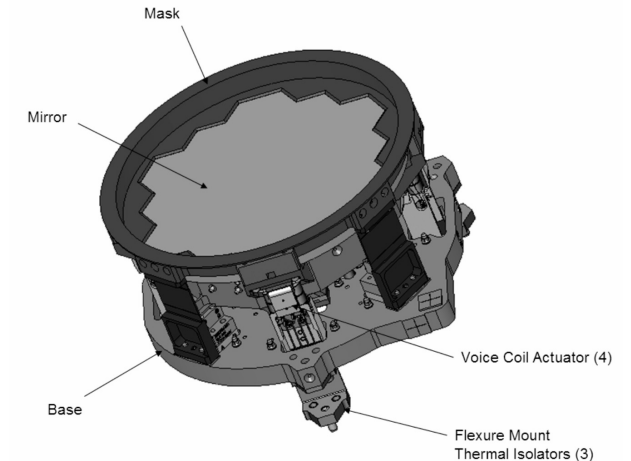
- Comprende MM, DITCE, FSMC, FSM
- Temperatura operativa 30-45K
- Utilizza meccanismo di rotazione flessibile e mirror carrier

- Necessita di meccanismo dietro allo specchio
- X-Flexure necessario dato CoR vicino allo specchio
 - CoR e CoG coincidono

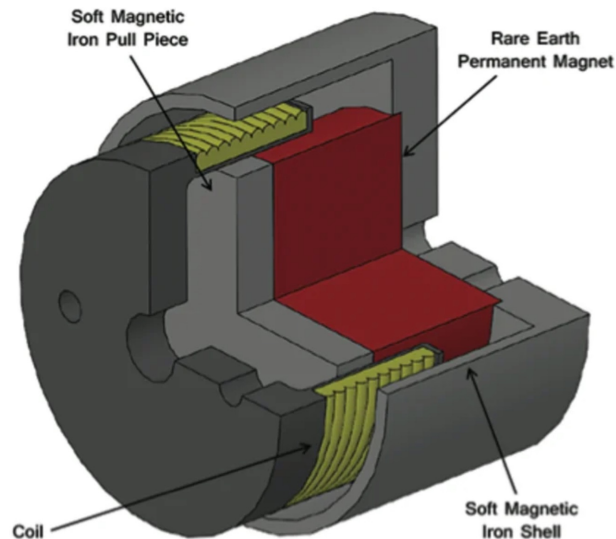


Aft Optic SubSystem - "FSM for JWST", Miroslav Ostaszewski, William Vermeer

- Larghezza di banda di 30Hz → Fine pointing device (not fast)
 - X-Flexure non compromette i dati
- Gamma di movimento ± 1 mrad
- Utilizza Voice Coil Actuators per il movimento



Isometria di FSM - "FSM for JWST", Miroslav Ostaszewski, William Vermeer



- Basati sulla forza di Lorentz
- Permettono al FSM due gdl
- Massa piccola consente accelerazioni rapide
- Non presenta i disturbi di cogging e backlash

- Complessità sistemi spaziali → Ogni sottosistema presenta requisiti differenti e pertanto necessita di differenti condizioni per poter operare
 - Continua evoluzione della tecnologia permette lo sviluppo di nuove soluzioni per la progettazione e l'assemblaggio dei sottosistemi
 - Problema delle vibrazioni spesso sottovalutato ma gioca un ruolo centrale nel progetto di un sistema spaziale
- Il MCPCT assicura una precisione di puntamento elevata, la divisione in livelli rende più complessa la gestione dell'assetto e necessita di molti componenti per funzionare correttamente
 - Alto impatto sui costi e sui tempi di realizzazione
- La soppressione delle vibrazioni per RWAs è un campo in forte crescita in quanto i requisiti di puntamento e di acquisizione dei dati sono sempre più stringenti
- I FSM sono indispensabili per ridurre al minimo l'errore di jitter, sono tuttavia molto costosi e complessi da realizzare in quanto le loro proprietà termo-ottiche devono restare circa invariate durante tutto il periodo della missione