

NIRSpec Camera  
James Webb Space Telescope

Francesco Romano

11 giugno 2010



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
1.1	Tecnica . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Near Infrared Spectrograph - NIRSpec</b>	<b>7</b>
2.1	Generalità e scopi . . . . .	7
2.2	Il cammino ottico . . . . .	8
2.3	Componenti in dettaglio . . . . .	10
2.3.1	Ottica anteriore - <i>fore optics</i> . . . . .	10
2.3.2	Ruota porta filtri . . . . .	11
2.3.3	Micro-shutter Array - MSA . . . . .	11
2.3.4	Meccanismo di <i>refocusing</i> . . . . .	13
2.3.5	Ruota porta prismi/ <i>gratings</i> . . . . .	14
2.3.6	Collimatore . . . . .	15
2.3.7	Sfera di Calibrazione . . . . .	16
2.3.8	Camera e la Detector Array . . . . .	16



# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Tecnica

Il James Webb Space Telescope è lungo circa  $22\text{ m}$  con uno specchio principale da  $6,5\text{ m}$  di diametro. E' *diffraction limited*, ossia la sua risoluzione angolare tende al valore teorico massimo raggiungibile con quel tipo di ottica. Essendo un telescopio operante nella banda dell'infrarosso (Near - Infra-red), ci sono forti restrizioni per quanto concerne le temperature operative, che devono essere mantenute in un determinato *range* operativo attorno a  $T = 35\text{ K}$ , questo per evitare qualsiasi tipo di interferenza con la strumentazione ottica di bordo.

Come si può vedere dalle due figure sotto, 1.1(a) 1.1(b), presenta esso

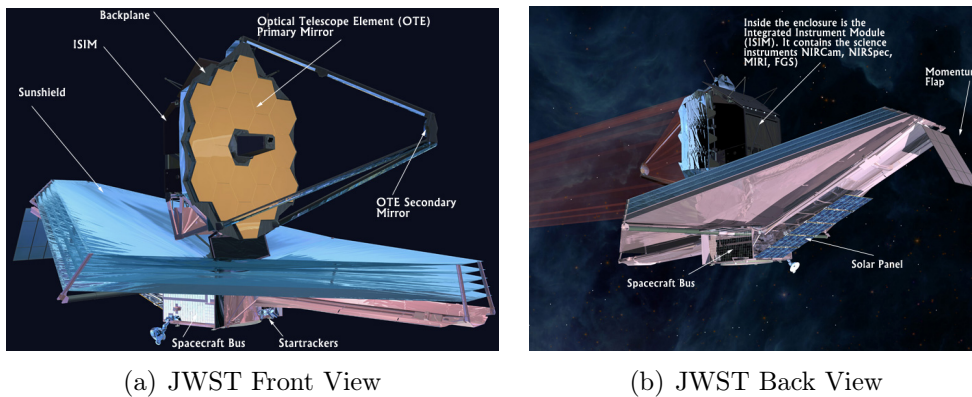


Figura 1.1: Micro-shutter Array

stesso una forma particolare, caratterizzata da un notevole ingombro dovuto sia allo specchio primario, ma soprattutto ai *sunshields*. I *sunshields* sono montati in strati, separati dal vuoto dello spazio, ed han-

no la funzione di bloccare la quasi totalità delle radiazioni provenienti dallo spazio, soprattutto dal Sole, in modo da evitare qualsiasi tipo di interferenza con la strumentazione ottica di bordo.

Al di sotto dei *sunshields* vi è localizzato lo *spacecraft bus* che contiene i vari sistemi per il controllo di potenza elettrica, gestione delle comunicazioni, controllo termico, di assetto, dei dati e della propulsione.

La potenza elettrica viene fornita da pannelli fotovoltaici.

Assieme allo *spacecraft bus* troviamo gli *startrackers*, strumenti per la calibrazione del sistema del controllo di assetto tramite il puntamento di stelle così dette *fisse*. Gli specchi primari e secondari sono montati su di una struttura principale detta *backplane* la quale monta sul retro il ISIM, ovvero l'*Integrated Instrument Module*:

l'ISIM contiene tutti gli strumenti ottici del JWST:

- MIRI - Mid Infrared Instrument
- NIRCам - Near Infrared Camera
- NIRSpec - Near Infrared Spectrograph
- FGS - Fine Guidance Sensor

## Capitolo 2

# Near Infrared Spectrograph - NIRSpec

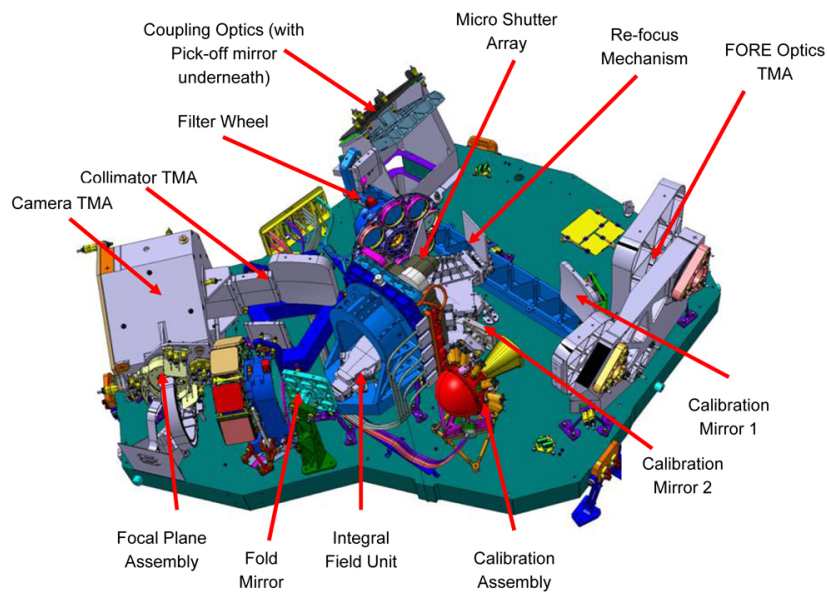


Figura 2.1: NIRSpec Assembly

### 2.1 Generalità e scopi

Il NIRSpec è uno spettrografo *near-infrared* a dispersione multi-oggetto che copre un FOV di  $3.4' \times 3.6'$ , pesa 200 kg e l'ingombro diagonale è di 190 cm, fig - 2.

Il principio di funzionamento è di raccogliere la radiazione nel vicino infrarosso emessa da un oggetto (galassia, pianeta, sistema solare, ecc.) e disperderla poi in modo da poter leggerne lo spettro: leggerne lo spettro serve a carpire le proprietà chimico - fisiche (es. temperatura, massa e composizione chimica) dell'oggetto stesso.

La NIRSpec ha la peculiarità, come già anticipato, di essere multi-oggetto: è dotata infatti di 4 array di *microshutters* che servono a fare passare la radiazione solo dalle zone del cielo che interessano: ognuna delle 4 array è formata da più di 60'000 *microshutters*, piccolissimi otturatori azionati tramite l'applicazione di un campo magnetico, ma con l'ulteriore possibilità di poter essere azionati singolarmente. L'unione di queste caratteristiche conferisce allo strumento la capacità di raccogliere informazioni su più oggetti contemporaneamente, di luminosità e distanze diverse.

E' un grande vantaggio, dati i tempi di esposizione di anche centinaia di ore per singola osservazione. Si possono così osservare diverse galassie o stelle più o meno distanti contemporaneamente.

L'intervallo di lunghezza d'onda dello strumento è di  $\lambda = 0,6 - 5 \mu m$  con tre risoluzioni:  $R = 100$  (risoluzione media) per il prisma ed  $R = 1000$  e  $R = 2700$  per i *gratings*.

E' capace inoltre di acquisire 100 spettri in una volta sola.

Per la lettura dello spettro vi sono due detectors in *HgCdTe* di risoluzione 2048 x 2048 a basso rumore.

## 2.2 Il cammino ottico

La radiazione viene raccolta dallo specchio primario con una *Collection Area* di 25  $m^2$  e composto da 18 specchi monolitici in berillio. Esso riflette la radiazione sullo specchio secondario, anch'esso in berillio, montato di fronte a quello primario tramite un sistema di aste. La scelta è ricaduta sul Berillio per la sua elevata stabilità e conducibilità termica e per le sue elevate caratteristiche meccaniche.

La radiazione viene poi riflessa sullo specchio terziario passando nel *Aft Optics Subsystem*, composto da uno specchio, un radiatore ed un *fine steering mirror* per il controllo di precisione sul percorso ottico. Questa prima parte del percorso ottico è mostrata nella figura sottostante - 2.2. Da qui in poi la radiazione luminosa entra nell'ISIM, ovvero Integrated Science Instrument Module, diretta in questo modo alla NIRSpec dall'ottica anteriore (*fore optics*), attraversa la ruota porta filtri, con la quale si selezionano gli intervalli di lunghezze d'onda, e viene indirizzata alla *Micro Shutter Array* che seleziona gli oggetti da osservare ed invia la stessa ad un collimatore che raddrizza



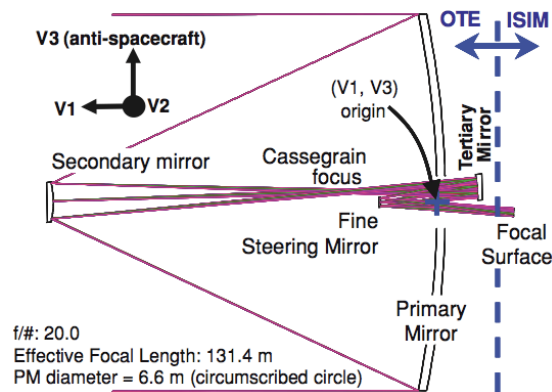


Figura 2.2: Cammino ottico tra gli specchi primari

i raggi luminosi e li re-invia alla ruota porta prisma/*gratings* (risoluzioni da  $R = 1000$  e  $R = 2700$  in tre bande spettrali in un range da  $1.0$  a  $5.0 \mu\text{m}$  per i *gratings* e  $R = 100$  per il prisma da  $0.6 \mu\text{m}$  a  $1.5 \mu\text{m}$ ): i *gratings* e il prisma separano la radiazione luminosa e la inviano ad una *camera* la quale la focalizza sulla *detector array* che provvede ad acquisire il segnale e processare le informazioni. Di seguito una rappresentazione generalizzata del percorso ottico all'interno della NIRSpec: fig. 2.3.

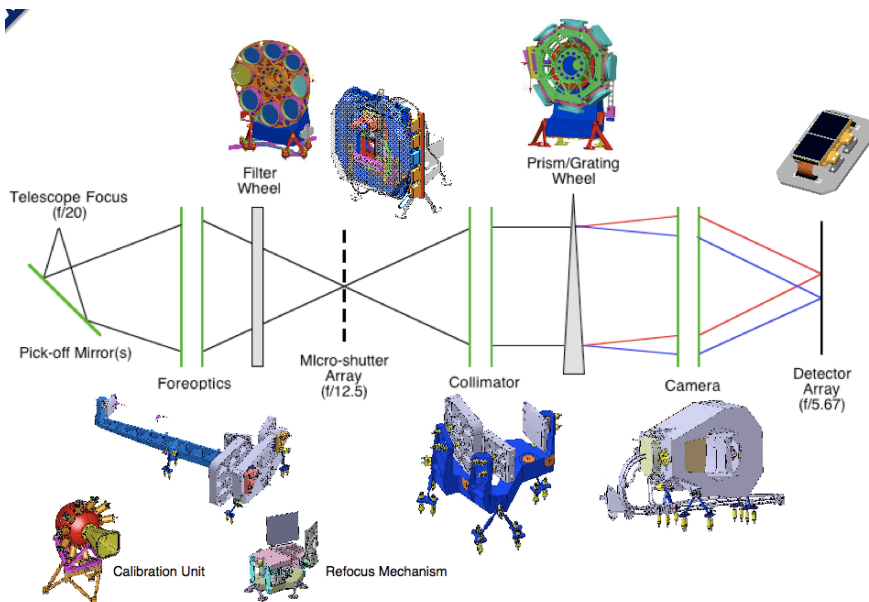


Figura 2.3: Cammino Ottico NIRSpec

## 2.3 Componenti in dettaglio

### 2.3.1 Ottica anteriore - *fore optics*

L'ottica anteriore è la parte iniziale della NIRSpec: un sistema di specchi che si occupa di ridimensionare il fascio: una frazione, quella allocata per la NIRSpec, di  $3 \times 3$  *arcmin* della superficie focale curva del telescopio.

Si opera in questo modo così da eliminare qualsiasi distorsione ottica causata dall'ottica principale e portare il fascio sul primo piano focale dove è posizionata la MSA: si realizza inoltre un fascio quasi collimato alla ruota porta filtri in modo da minimizzare le aberrazioni cromatiche.

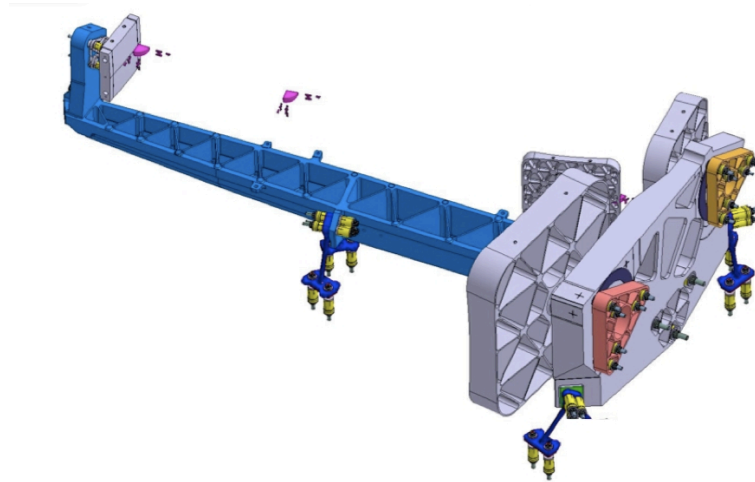


Figura 2.4: Ottica anteriore - *fore optics*

### 2.3.2 Ruota porta filtri

La ruota porta filtri è composta da 6 filtri: due filtri a banda larga, quattro a passa alto, una pupilla di riferimento (per allineamento), uno specchio di calibrazione (per l'auto calibrazione dello strumento) ed un'apertura libera per fotografia.

I filtri si occupano di lasciare passare solo le lunghezze d'onda utili allo strumento e di riflettere le radiazioni non desiderate, come quelle che porterebbero al surriscaldamento del sistema ottico.

I filtri hanno sub-strati in  $CaF_2$  o in  $BK7$  con apertura di  $66\text{ mm}$  e spessore di  $10\text{ mm}$ . Il motore elettrico che deve movimentare il blocco ruota è sottoposto a standard molto rigidi per quanto concerne corrente e tensione massima che può raggiungere a causa del calore dissipato per effetto Joule durante il funzionamento, il quale potrebbe alterare l'immagine; la potenza massima stabilita al motore è di  $69\text{ mW}$ : si ricorda che le temperature operative sono in un intorno di  $T = 35\text{ K}$  per evitare interferenze con l'intero sistema ottico.

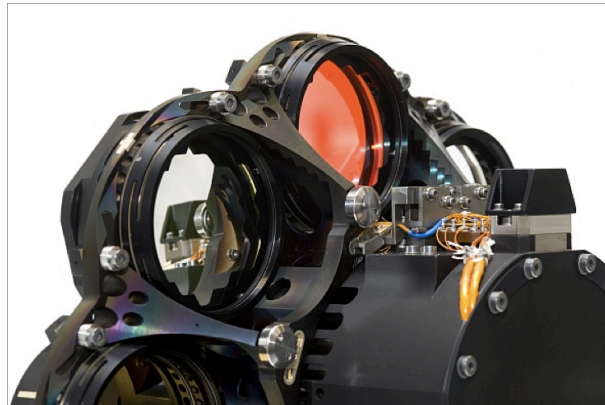
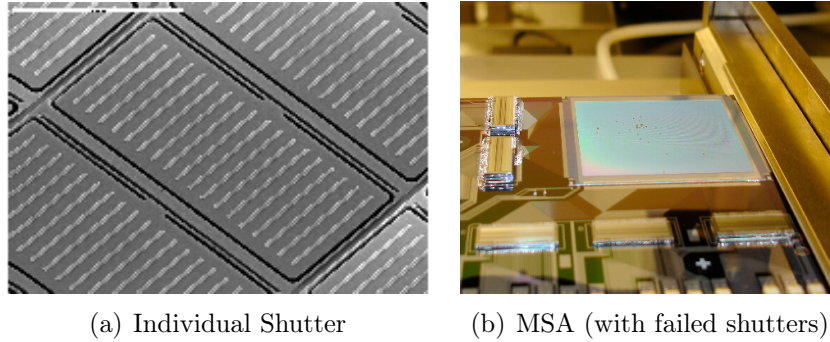


Figura 2.5: Ruota Porta Filtri

### 2.3.3 Micro-shutter Array - MSA

La *micro-shutter array* - *MSA* è composta da quattro arrays (griglie) di  $62'415$  micro-otturatori l'una, per un totale di  $249'600$ .

I micro-otturatori sono piccolissime fenditure apribili con dimensioni di  $100 \times 200\ \mu\text{m}$  l'uno, azionabili, come già accennato, tramite il passaggio di un magnete permanente che spinge i micro-otturatori verso il basso i quali vengono poi catturati da un campo elettrico generato nella scatola di metallo posta al di sotto di essi: tramite l'applicazione di piccoli campi elettrici al di sotto del singolo micro-otturatore è inoltre possibile aprire e chiudere determinate



(a) Individual Shutter

(b) MSA (with failed shutters)

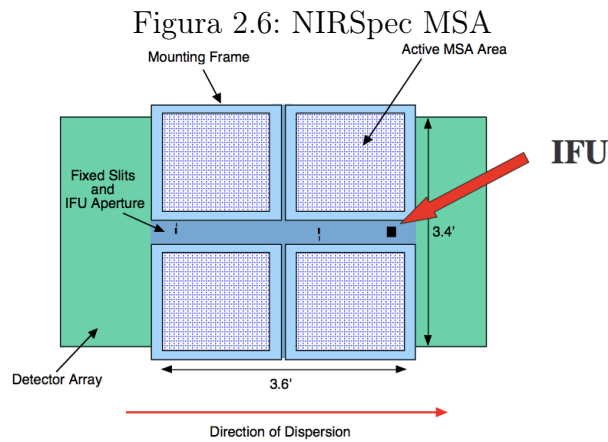


Figura 2.7: MSA details

regioni della MSA agendo, come già detto sul singolo otturatore.

Queste peculiarità fanno sì che puntando una regione determinata del cielo, sia possibile osservare più oggetti allo stesso tempo agendo singolarmente sull'apertura-chiusura dei micro-otturatori.

Oltre alle quattro arrays, sono presenti delle aperture fisse: tre da  $3,5 \text{ arcsec}$  di lunghezza per  $200 \text{ milliarcsec}$  di larghezza e una da  $4 \text{ arcsec}$  per  $400 \text{ milliarcsec}$ , posizionate tra le arrays, per eseguire spettrografia ad elevato contrasto e per poter fungere da ridondanza in caso di malfunzionamenti della MSA: è inoltre presente un'apertura di  $3'' \times 3''$  per la IFU (Integral Field Unit) composta da 30 *slices* larghi ciascuno  $100 \text{ milliarcsec}$  (figura 2.7): queste ultime permettono osservazioni a risoluzioni di  $R = 2700$  e ad elevato contrasto, con un campo di vista largo tale da poter osservare una porzione di cielo ampia e quindi oggetti su larga scala: ad esempio lo studio di galassie ad alto- $z$ , ovvero le quali sono più lontane e più veloci, con uno spostamento verso l'infrarosso più accentuato. La IFU viene azionata spostando il magnete che aziona la MSA, il quale, in posizione di riposo, copre

la IFU.

Durante i test sono stati riscontrati dei problemi tecnici per quanto concerne l'apertura/chiusura dei micro-otturatori, in quanto alcuni rimangono chiusi o aperti (questi ultimi più problematici). Questo fenomeno può indurre confusione sullo studio delle immagini e bisognerà tenerne conto durante le osservazioni e le analisi. Nelle immagini seguenti (fig 2.8) possiamo avere un'idea degli spettri realizzati con le due risoluzioni,  $R=1000$  ed  $R=2700$ , realizzate con l'IFU e le aperture fisse.

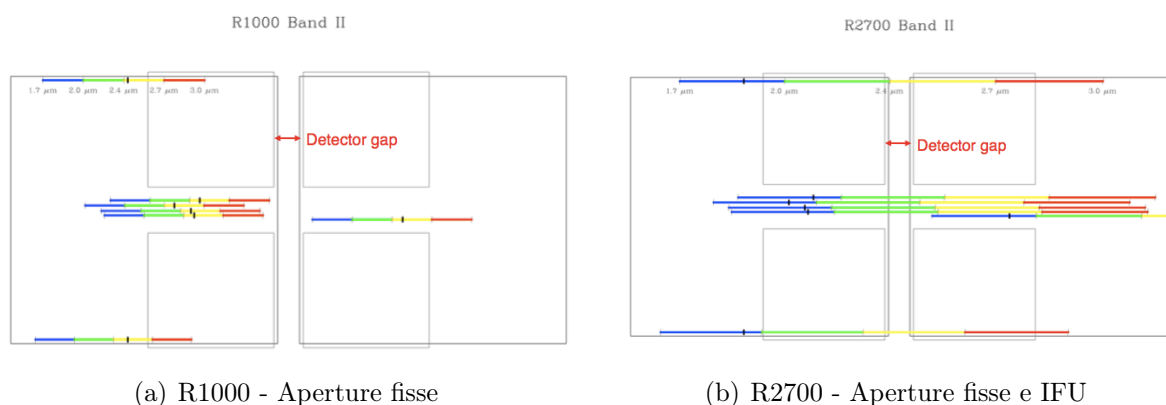


Figura 2.8: Fixed slits and IFU spectra acquisition

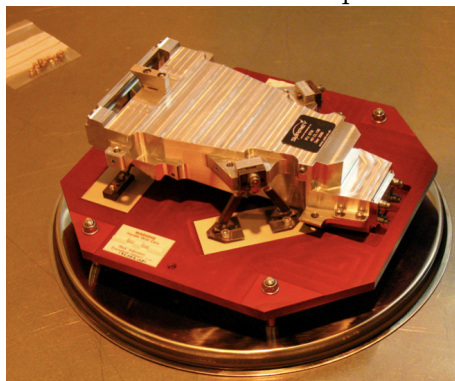


Figura 2.9: Integral Field Unit

### 2.3.4 Meccanismo di *refocusing*

Il meccanismo di *refocusing* permette di compensare le possibili variazioni di lunghezza focale del telescopio dovute alla degradazione e all'adattamento del telescopio una volta giunto alle condizioni operative: è composto da due specchi piani *Zerodur*, di elevata stabilità termica, montati su di una base in

titanio che può muoversi, tramite un motore elettrico passo passo, in steps da  $10 \mu m$  con una escursione massima di  $3 mm$  in positivo ed in negativo: con questo meccanismo si può variare la lunghezza focale del telescopio fino ad azzerare eventuali errori.

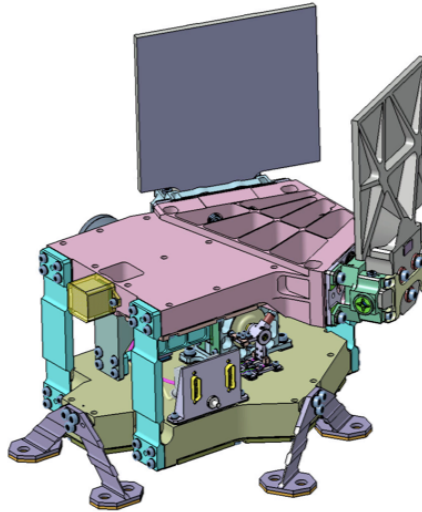


Figura 2.10: Meccanismo di *refocusing*

### 2.3.5 Ruota porta prismi/*gratings*

La ruota è composta da sei *gratings* (o Reticoli di diffrazione) e un prisma che coprono tre risoluzioni spettrali, ad  $R=1000$  e ad  $R=2700$  si hanno risoluzioni spettrali di  $1.0 - 1.8 \mu m$ ;  $1.7 - 3.0 \mu m$ ;  $2.9 - 5.0 \mu m$ . Vi si trova inoltre uno specchio da ricoperto in argento per la *Target Acquisition*.

I *gratings* sono superfici dotate di una struttura periodica, un reticolo, la quale funzione è di separare la radiazione luminosa in tutto il suo spettro basandosi sul principio del fenomeno della diffrazione. Si varia la risoluzione variando le dimensioni del singolo *groove*-elemento del reticolo, essendo  $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ , dove  $\Delta\lambda$  è la più piccola differenza di lunghezza d'onda risolvibile dal *grating*.

Si hanno tre *gratings* a media risoluzione  $R = 1000$  e tre ad alta risoluzione  $R = 2700$ . Le scanalature dei *gratings* sono ricavate in un sottostrato di *Zerodur* ricoperto di oro, un vetro ceramico con coefficiente di espansione termica bassissimo. Il prisma offre invece una risoluzione media di  $R = 100$  (minima di  $R = 50$  e massima di  $R = 200$ ) coprendo l'intera banda spettrale della NIRSpec, ovvero tra  $\lambda = 0.6 - 5 \mu m$ . Il prisma è realizzato in  $CaF_2$  con

particolari tecniche costruttive e tolleranze dimensionali molto elevate. Anche per quanto concerne il controllo della rotazione della ruota, movimentata da un motore elettrico e controllata da diversi sensori, le tolleranze sono molto rigide - figura 2.11.

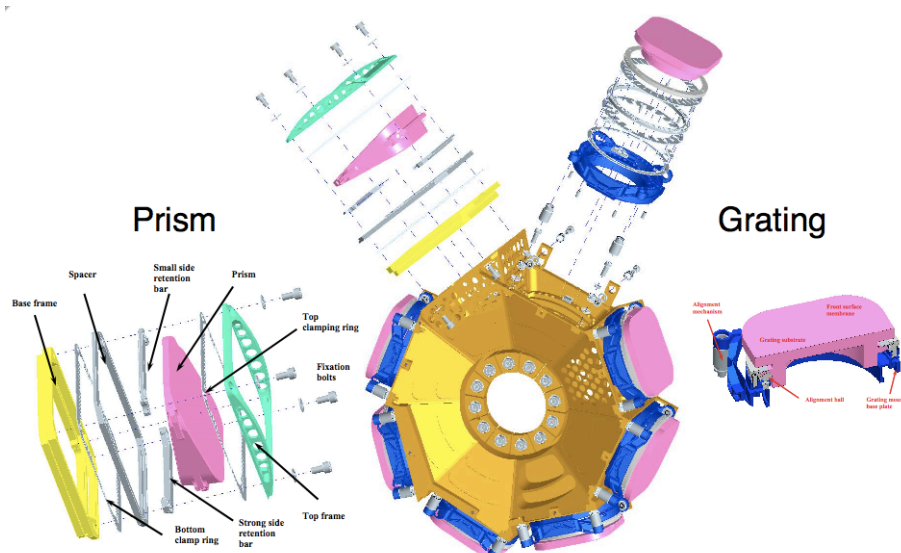


Figura 2.11: Ruota porta filtri

### 2.3.6 Collimatore

Il collimatore è un componente ottico che si occupa di trasformare la radiazione proveniente dalla Micro-shutter array in un fascio collimato da inviare alla ruota porta prismi/gratings con un sistema di tra specchi:

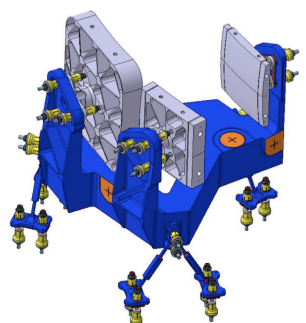


Figura 2.12: Collimatore



### 2.3.7 Sfera di Calibrazione

All'interno della NIRSpec è presente un'unità interna di calibrazione, la quale si occupa di quantificare gli effetti delle distorsioni spettrali, geometriche e della calibrazioni radiometriche. E' composta da una sfera di integrazione illuminata da 11 lampade con filtri a banda larga e *spectral line filters* che forniscono illuminazione continua allo strumento. L'obiettivo della sfera di integrazione è di creare un fascio omogeneo all'uscita che, tramite un sistema di sei specchi, viene indirizzato sulla *MSA* in modo *telecentrico*, ossia con i raggi paralleli all'asse ottico. Le informazioni vengono così inviate ai detector seguendo il normale percorso ottico: in questo modo si confronta lo spettro processato dal sistema ottico con i valori iniziali, noti, forniti come *input* dall'unità di calibrazione.

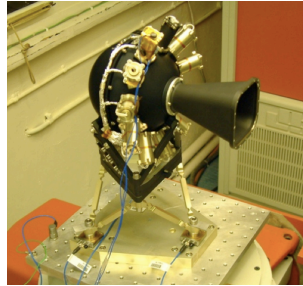


Figura 2.13: Calibration Unit

### 2.3.8 Camera e la Detector Array

La radiazione luminosa riflessa e dispersa dai *gratings* e dal prisma posti sull'apposita ruota, viene raccolta dalla *camera* che ha la funzione di focalizzare l'immagine così ottenuta sui detectors.

I detectors sono due, foto-conduttivi e costruiti in *HgCdTe* (*Mercury Cadmium Telluride*): essi servono a leggere e digitalizzare le informazioni sullo spettro provenienti dall'oggetto osservato.

I detectors foto-conduttivi sono polarizzati inversamente e sono i fotoni con energia maggiore della band-gap a produrre una corrente che permette di valutare l'intensità della radiazione incidente.

Caratteristica peculiare dei detectors realizzati in *HgCdTe* è di poter variare la band-gap del cristallo variando la composizione chimica degli elementi di base: *HgTe* e *CdTe*.

I detectors sono a basso rumore, 6 elettroni per 1000 s, con un'efficienza quantica superiore a 0.8 ed una risoluzione di 2048 x 2048 pixel (figura 2.14).



Il gruppo di detectors è protetto dalle radiazioni con una struttura in molibdeno e la loro temperatura viene controllata tramite radiatori e particolari schermature, tali da mantenerla in un intorno di  $T = 38\text{ K}$  con un'accuratezza di un venti-millesimo di grado. La dissipazione di calore dei detectors dovuta ad effetto Joule deve inoltre essere mantenuta al di sotto di  $44\text{ mW}$  per evidenti problemi termici.

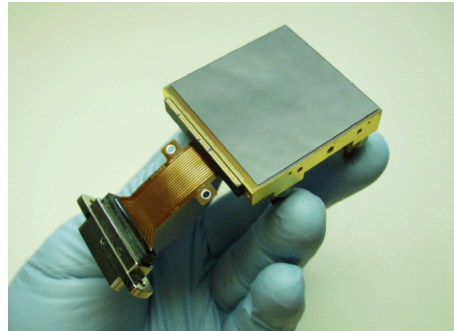


Figura 2.14: Detector in  $HgCdTe$  per il JWST



# Bibliografia

- [JWST] NASA JWST Section  
<http://www.jwst.nasa.gov/nirspec.html>
- [JWST NIRSpec] Space Telescope Science Institute  
<http://www.stsci.edu/jwst/instruments/nirspec/>
- [Filter Wheel] MPIA Infrared Space Astronomy  
<http://www.mpia-hd.mpg.de/IRSPACE/jwst/nirspec.php?print=yes>
- [NIRSpec] NIRSpec presentation  
<http://www.stsci.edu/jwst/externaldocs/presentations/JWST-STScI-000925.pdf>
- [Technical Report] Technical Report  
<http://www.stsci.edu/jwst/externaldocs/technicalreports/JWST-STScI-000851.pdf>
- [JamesWebbOrg] JWST HubbleSite  
[http://webbtelescope.org/webb\\_telescope/](http://webbtelescope.org/webb_telescope/)
- [Jakobsen JWST] Presentation  
[http://www.stsci.edu/jwst/externaldocs/presentations/NIRSpec\\_Jakobsen.pdf](http://www.stsci.edu/jwst/externaldocs/presentations/NIRSpec_Jakobsen.pdf)
- [Wikipedia] Diffraction Gratings  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction\\_grating](http://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction_grating)
- [Wikipedia] IFU  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Integral\\_field\\_spectrograph](http://en.wikipedia.org/wiki/Integral_field_spectrograph)
- [NirSpec] ESA  
<http://astronomy2009.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=45694>

[JWST]

ESA JWST

*<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=29>*