

Riduzione dati e strategie osservative di survey (nel Visibile e IR) provenienti dall'Hubble Space Telescope con la WFC3

Hubble Space Telescope

FGS
Hubble has three fine guidance sensors. Two are needed to point and lock the telescope on target, while the third can be used for astrometry, the precise measurement of stellar positions.

Primary mirror
Hubble's primary mirror is 7.8 feet (2.4 meters) in diameter. It is made of a special glass coated with aluminum and a compound that reflects ultraviolet light. It collects light from the telescope's targets and reflects it to the secondary mirror.

Secondary mirror
Like the primary mirror, Hubble's secondary mirror is made of special glass coated with aluminum and a compound to reflect ultraviolet light. It is 12 inches (30.5 centimeters) in diameter and reflects the light back through a hole in the primary mirror and into the instruments.

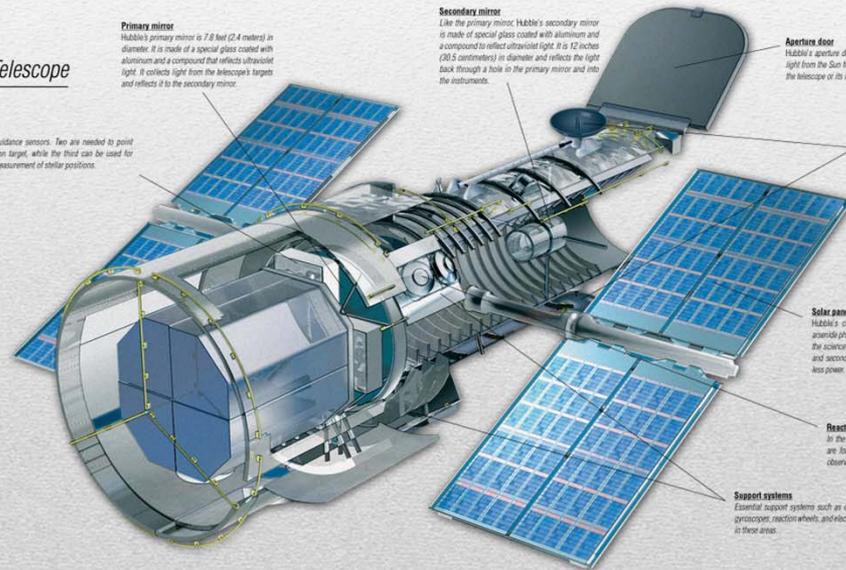
Aperture door
Hubble's aperture door can close, if necessary, to prevent light from entering and potentially damaging the telescope or its instruments.

Communication antennas
Digital images and spectra stored in Hubble's solid-state memories are converted to radio waves and then beamed through one of the spacecraft's high-gain antennas (HGAs) to a NASA communications satellite, which relays them to the ground. Because the HGAs would extend off the page above and below the spacecraft image, they are shown here pressed against the side of the telescope in their "bent" positions. This is how they were configured at launch.

Solar panels
Hubble's current set of eight solar panels use gallium-arsenide photovoltaic cells that produce enough power for all the science instruments to operate simultaneously. The first and second sets were larger, flexible panels, but produced less power.

Reaction wheels
In the middle of the spacecraft, near its center of gravity, are four 100-pound reaction wheels used to rotate the observatory.

Support systems
Essential support systems such as computers, batteries, gyroscopes, reaction wheels, and electronics are contained in these areas.

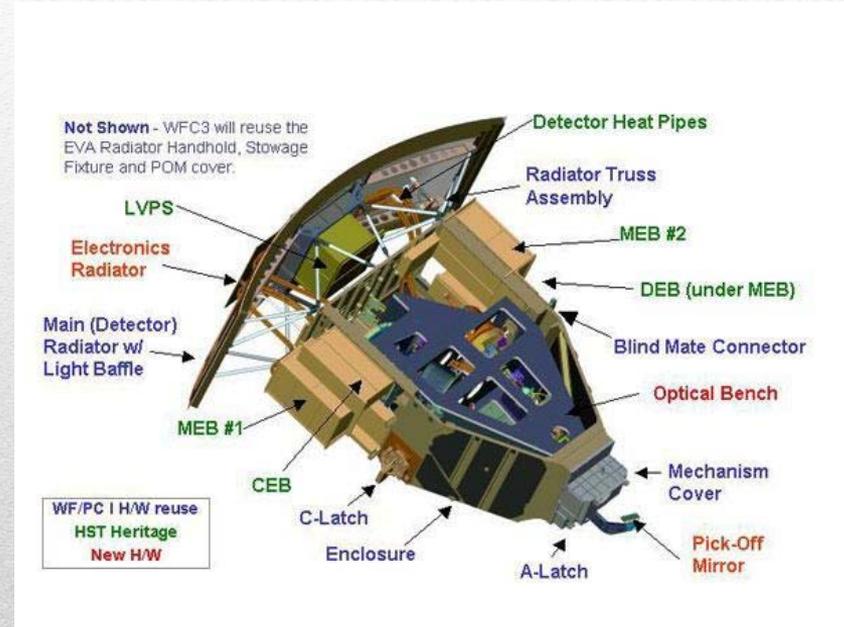


Strumenti attualmente attivi sull'HST

- [Wide Field Camera 3](#) (WFC3 – 2009-presente)
- [Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer](#) (NICMOS – 1997-presente, in ibernazione dal 2008)
- [Advanced Camera for Surveys](#) (ACS - 2002-presente)
- [Cosmic Origins Spectrograph](#) (COS - 2009-presente)
- [Space Telescope Imaging Spectrograph](#) (STIS – 1997-presente)

Wide Field Camera 3 (WFC3)

- E' una camera versatile con un range di lunghezze d'onda molto ampio
- Ha due percorsi di luce indipendenti, uno per il visibile e uno per l'IR
- Il detector nell'UV/visibile ha 2 CCD ciascuno di 2048×4096 pixel con un banda da **200 nm a 1000 nm**. Copre un'area di 164×164 arcsec (2.7×2.7 arcmin), circa l'8.5% del diametro della luna piena con una risoluzione di 0.04 arcsec/pixel
- Il detector nell'IR ha 1 CCD di risoluzione 1024×1024 pixel con una banda da **800 a 1700 nm**. Copre un'area di 135×127 arcsec (2.3×2.1 arcmin) con una risoluzione di 0.13 arcsec/pixel
- E' raffreddata con un cooler termoelettrico (una cella di Peltier)



Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer (NICMOS)

Sensore infrarosso con lunghezze d'onda comprese fra 800 e 2500 nm per imaging e spettroscopia slitless con un campo variabile tra 11 e 52 arcsec quadrati.

Advanced Camera for Surveys (ACS)

Strumento molto versatile con 3 canali ad alta risoluzione indipendenti dall'ultravioletto al vicino infrarosso con ottima efficienza quantica (QE). Presenza di 38 filtri su 3 ruote, un prisma e un GRISM. La famosa immagine Hubble Ultra Deep Field è un esempio delle capacità di questo sensore.

Cosmic Origins Spectrograph (COS)

Strumento scientifico per Spettrografia Ultravioletta (90-320 nm) di sorgenti deboli puntiformi (stelle calde, quasar ecc.) con potere risolutivo compreso tra circa 1500 e 24000. Osservazioni di spettri di assorbimento di gas interstellari e intergalattici.

Space Telescope Imaging Spectrograph (STIS)

Strumento scientifico sia per spettroscopia che per imaging diretto, focalizzato sulla luce ultravioletta (da 115nm a 1030nm). E' composto da 3 detector di 1024×1024 pixel con un campo di 52x52 arcsec.

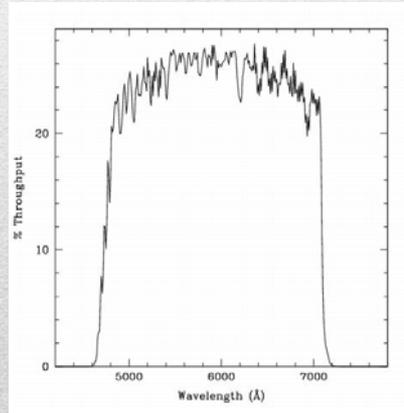
Strategie osservative nell'HST

Per quest'analisi è stato preso in considerazione un set di dati provenienti da un survey (B. Hilbert, M. Chiaberge, 2016) per un'analisi qualitativa nel visibile e nell'IR di 22 oggetti (QSO e radio galassie) nel catalogo 3CR con redshift $z > 1.0$, utilizzando la WFC3 dell'Hubble Space Telescope

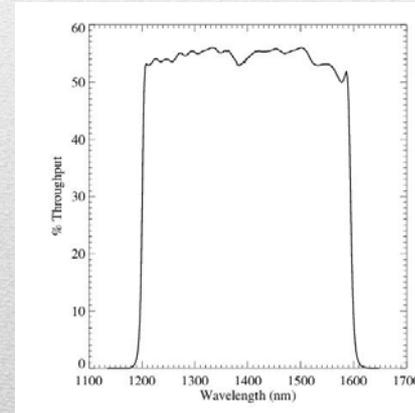
Si sono utilizzati i 2 canali della Wide Field Camera 3

- Filtro UVIS **F606W** a 588,7 nm (ampiezza 218.2 nm) campo 162x162'' e ris. 0.04''/pixel
- Filtro IR **F140W** a 1392.2 nm (ampiezza 384 nm) campo 123x136'' e ris. 0.13''/pixel

F606W



F140W



Per ogni oggetto sono state scattate 2 img di uguale esposizione (249s) con un offset di 2.4'' per rigettare i raggi cosmici.

DATA REDUCTION

Ci sono due approcci che si possono affrontare con le osservazione dall'HST: **Riduzione in pipeline** e **analisi indipendente**.

- **Riduzione in pipeline**

I dati astronomici ottenuti con i CCD seguono diverse procedure di calibrazione prima delle analisi astronomiche. L'STScI (Space Telescope Science Institute) ha sviluppato diversi software sofisticati che calibrano automaticamente i dati, con i migliori metodi disponibili. Questo processo di calibrazione di grandi quantità di dati “on the fly” può impiegare anche più di un giorno, ed è noto come *riduzione in pipeline*, (tutti i maggiori osservatori usano metodi del genere). Gli astronomi, se vogliono, possono ricevere i file da calibrare per condurre da sé le riduzioni in pipeline. L'STScI usa lo Space Telescope Science Data Analysis System (STSDAS), contenente tutti i programmi necessari ad eseguire riduzioni in pipeline dei dati raw, e molti altri strumenti di analisi di immagini astronomiche, modellati sui bisogni dell'Hubble. Il software principale è basato su IRAF, programma professionale di riduzione dei dati astronomici.

- **Analisi indipendente**

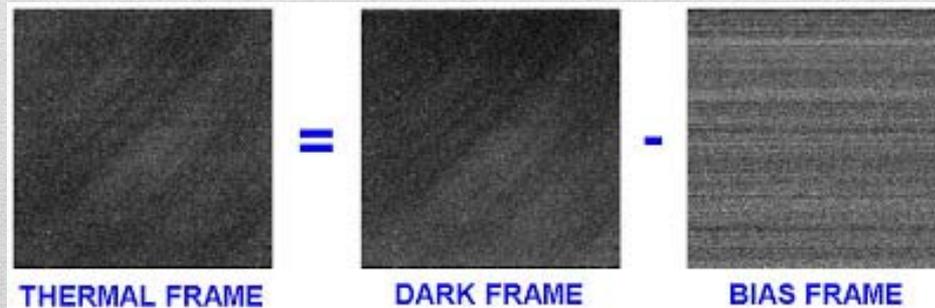
Tecniche customizzate, non proprie dei software dell'HST. Il file fits in uscita dall'HST può essere anche in formato RAW, ma ha già le correzioni per: BIAS, Dark Current Subtraction, correzione della linearità del CCD, Flat Field, masking pixel difettosi.

BIAS FRAME

E' fondamentale un DARK FRAME con tempo di esposizione nullo (se possibile, altrimenti con una posa minima), ovvero un'immagine CCD ripresa con tutte le ottiche coperte da uno schermo nero. Serve a determinare il rumore strumentale di fondo, un offset strumentale sempre presente.

DARK FRAME

Si ottiene con una posa a otturatore chiuso, pari possibilmente a quella delle esposizioni scientifiche. Indipendentemente dal fatto che il CCD sia o meno esposto alla luce, esso genera degli elettroni in numero proporzionale alla temperatura di esercizio. Coprendo il telescopio, e facendo un'esposizione completamente al buio, non si ottiene un'immagine perfettamente nera con tutti i valori dei pixel nulli, bensì un'immagine *rumorosa/granulosa* (*noise*) con un tipico *effetto neve*. Nel DARK FRAME è contenuto un altro segnale indesiderato: il segnale del BIAS, sopra descritto. Con una semplice operazione di sottrazione da pixel a pixel tra il DARK FRAME e il BIAS FRAME, otteniamo il THERMAL FRAME ovvero una mappa della degli elettroni termici generati dal nostro sensore, che dipende dalla temperatura e dal tempo di esposizione.

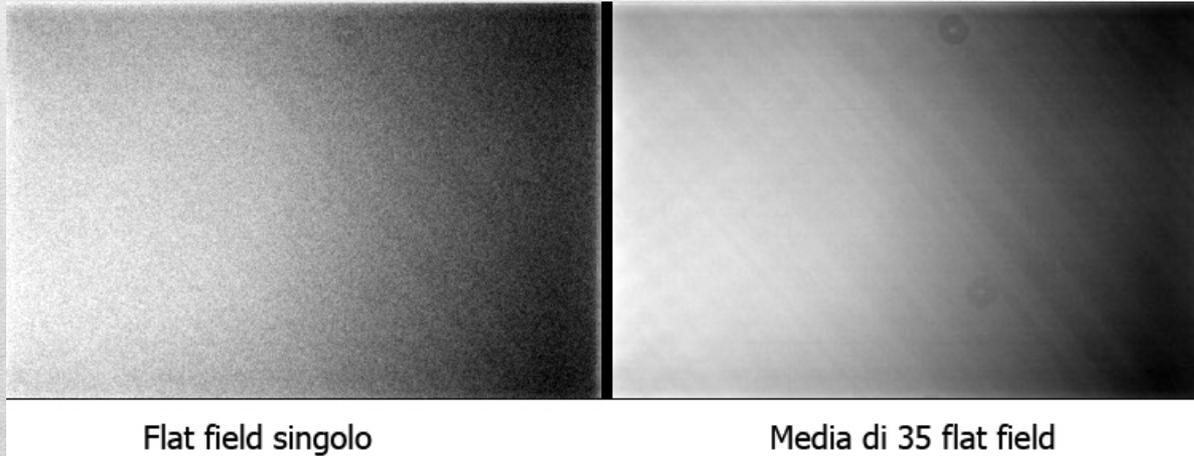


FLAT FIELD

I flat field sono delle speciali immagini di calibrazione che hanno il compito di mappare le differenze di sensibilità dei pixel del CCD e le disomogeneità del piano focale. Tra queste rientrano difetti sempre presenti come la vignettatura, ovvero una caduta di luce ai bordi, disuniformità di campo generate dalle ottiche del telescopio, polvere e sporcizia depositati sui filtri, sui correttori o sulla finestra del CCD stesso.

Si realizza con un'esposizione sul fondo cielo (senza stelle o all'alba o al tramonto) oppure usando una lampada che illumina una parte uniforme della cupola (un plexiglass o un telo).

Per il fatto che c'è un errore risultante dalla lettura, legato a ciascuna immagine (fluttuazione poissoniana del segnale/raggi cosmici) conviene acquisire N flat field e Bias e farne la media – l'errore sul valor medio cala come \sqrt{N}



RIDUZIONE STANDARD FINALE

La relazione finale che permette di ottenere un'immagine ridotta e di qualità ottimale è quindi la seguente:

$$\text{Reduced}_{\text{img}} = \frac{\text{Image} - \text{BIAS}}{\text{Flat} - \text{BIAS}} \text{AveCounts}_{(\text{ff-bias})}$$

La moltiplicazione per il termine $\text{AveCounts}_{(\text{ff-bias})}$ (valor medio dei conteggi dell'immagine (ff-bias)) serve a ri-normalizzare i valori dei conteggi dell'immagine finale che, per la prima divisione, potrebbero diventare molto piccoli e causare quindi problemi di precisione. Eventualmente ai termini BIAS e Flat vanno sostituite le relative medie (se disponibili più esposizioni)

ALTRE POSSIBILI CORREZIONI

Correzione della Charge Transfer Efficiency (CTE)

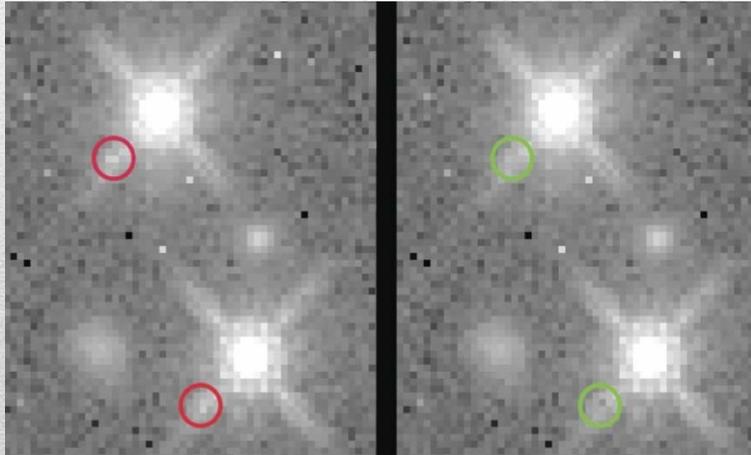
L'algoritmo è in grado di identificare le cariche «bloccate» nei Pixel e restituirle al pixel appropriato dell'immagine di output.

Eliminazione dei raggi cosmici

AstroDrizzle (parte del software *DrizzlePac 2.0*) è usato per combinare immagini dall'HST. Comparando più immagini, se si nota un picco di segnale, in relazione alla media, viene segnato come raggio cosmico. Si ricostruiscono quindi i pixel «contaminati» dai raggi cosmici. Un altro programma (in Python) analizza i picchi e li rimpiazza con la media dei pixel adiacenti.

Persistenza

È un'immagine residua osservata in pixel che, in esposizioni precedenti, erano soggetti ad alti livelli di flusso. Contamina i calcoli fotometrici. Si ottengono i file «maschera» di persistenza dal *MAST (Mikulski Archive for Space Telescope)* che sono relativi ad esposizioni precedenti (di altri lavori) o dello stesso lavoro, nel cui caso si parla di self-persistence (vedi immagine).



Distorsione geometrica

Deriva dalla distorsione delle ottiche ed è essenziale rimuoverla (sempre con *AstroDrizzle*) per poter combinare 2 o più immagini assieme (provenienti da diverse camere dell'HST) o per compararle con immagini provenienti da altri telescopi

Allineamento

Sempre con il software *AstroDrizzle*, e il pacchetto *TWEAKREG* si allineano le immagini UVIS e IR (dello studio degli autori) allo stesso sistema di coordinate (eventuale rotazione con il Nord->UP e l'Est->LEFT), in modo da poter fare un overlay delle 2 osservazioni per comparare morfologia e luminosità nelle 2 bande

In conclusione si può notare un esempio di sovrapposizione di 2 immagini ridotte e allineate provenienti dallo studio con osservazione tramite HST (filtri F606W e F140W) con dati radio provenienti da osservazioni dal VLA (Very Large Array – New Mexico, USA). Si notano le posizioni relative dei lobi radio che in questo caso so coincidenti all'asse nel visibile e nell'IR

