

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Tesi di Laurea in Fisica

GAIA GALAXY SURVEY
OSSERVAZIONE SIMULATA DI GALASSIE
CON IL SATELLITE GAIA DELL'ESA

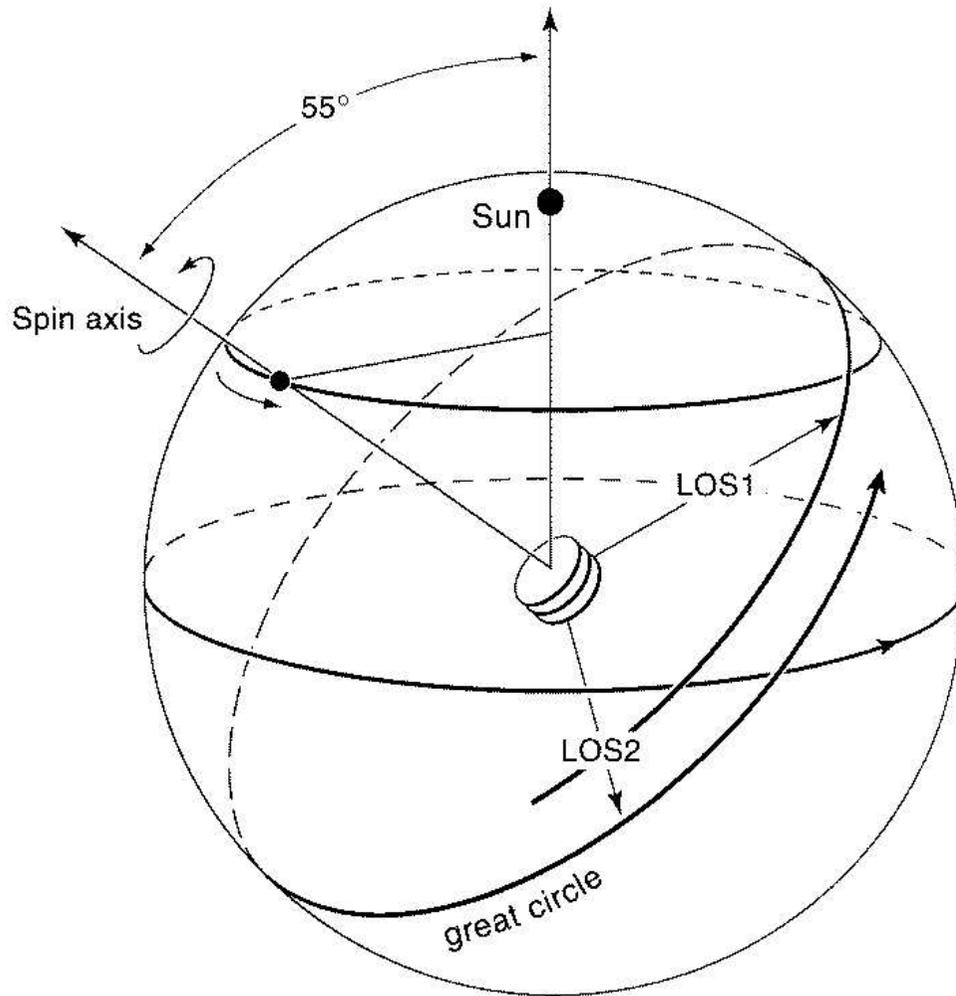
Mattia Vaccari

Relatore
Prof. A. Saggion
Dipartimento di Fisica
Università di Padova

Correlatore
Prof. E. Høg
Osservatorio Astronomico
Università di Copenaghen

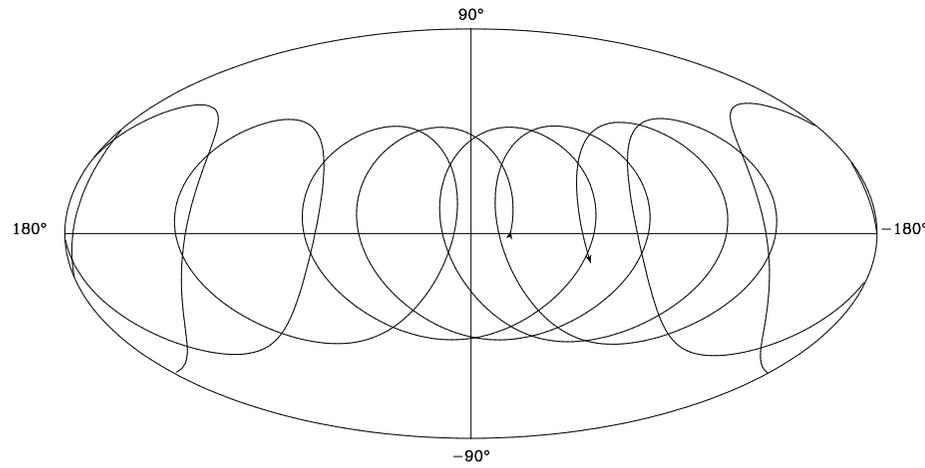
Correlatore
Prof. P.L. Bernacca
Dipartimento di Astronomia
Università di Padova

Scansione del Cielo (1)

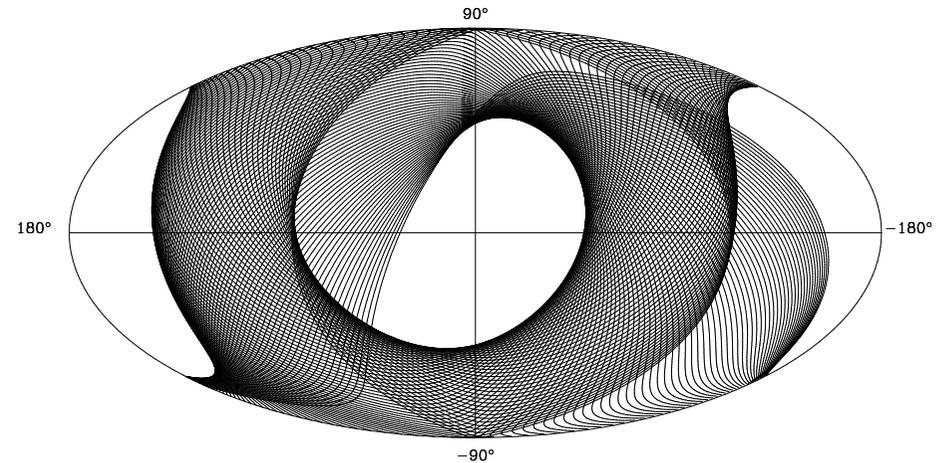


- La scansione del cielo da parte del satellite viene ottenuta attraverso la combinazione di due movimenti:
 - Una rotazione del satellite attorno al suo asse di simmetria con $T_{rot} = 3$ ore
 - Una precessione dell'asse di rotazione attorno alla direzione Sole-Satellite con $T_{pr} = 72$ giorni

Scansione del Cielo (2)



- Moto dell'asse di rotazione in 4 mesi



- Scansione del cielo in $T_{pr} = 72$ giorni

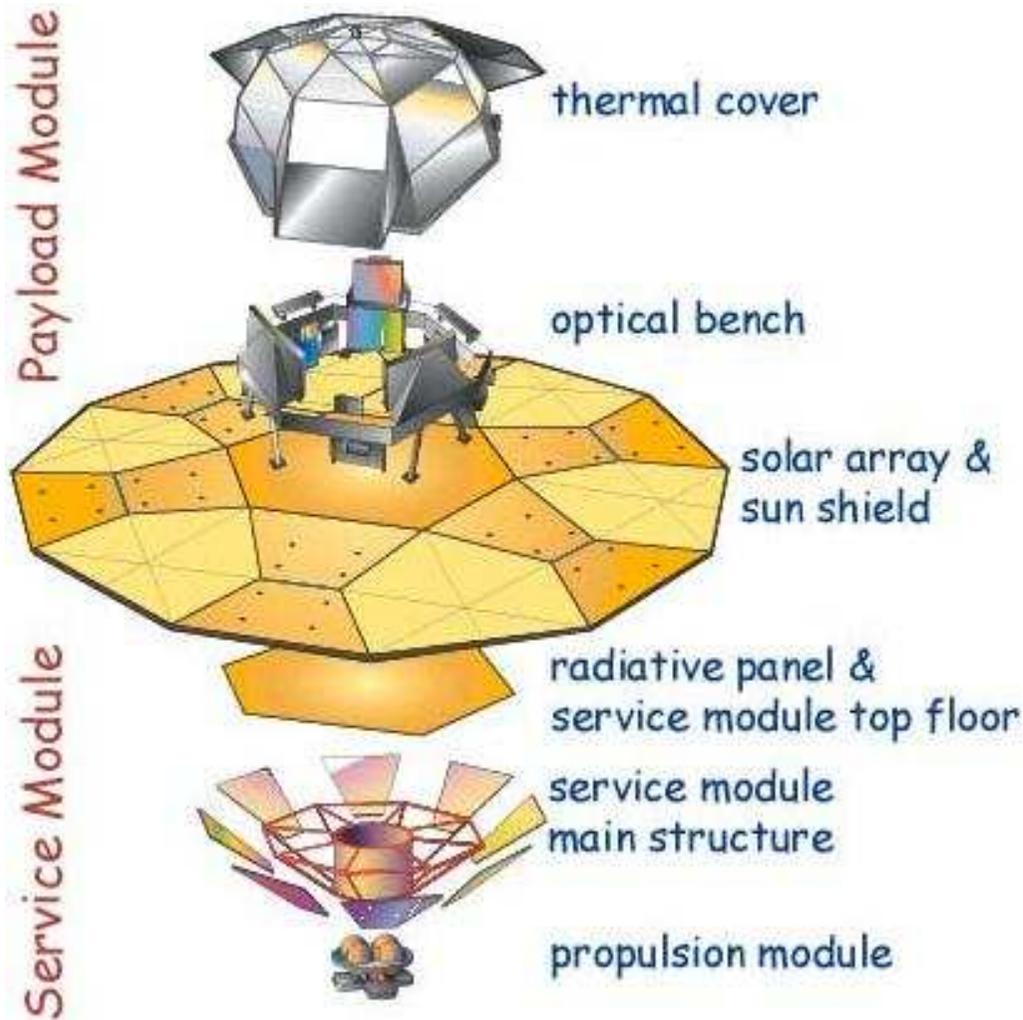


- Ogni regione del cielo viene in media osservata 85 volte in 5 anni



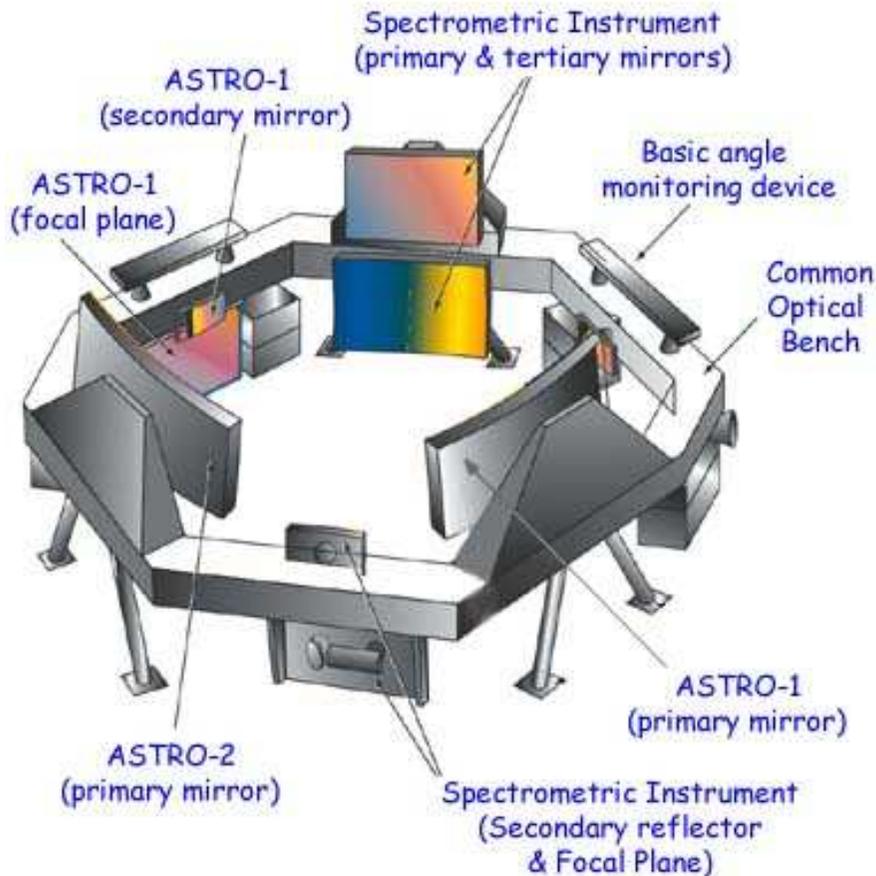
- Ricostruzione dei moti parallattici e moti propri
- Rivelazione di eventuali variabilità fotometriche e spettroscopiche
- Accuratezza nominale raggiunta solo alla fine della missione

Spacecraft



- Lancio nel 2009
- Orbita di Lissajous attorno al punto L2 del sistema Sole-Terra
- Vita operativa: 5 anni
- Telemetria: 1 Mbit/s in media (20 Tbyte in 5 anni)

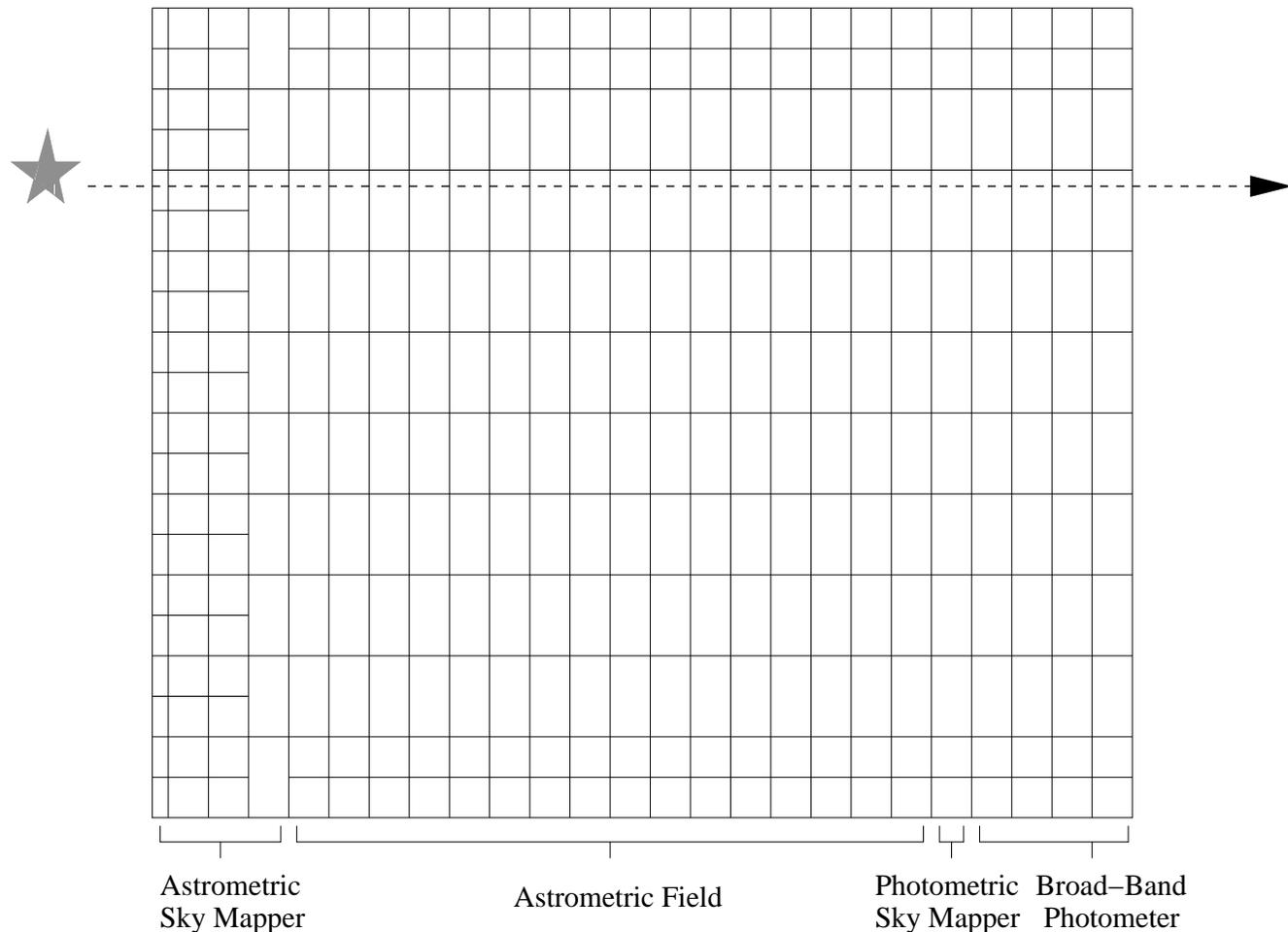
Payload



- Tre telescopi a tre specchi: due strumenti astro-metrici (Astros) e uno strumento spettroscopico (Spectro).
- Astros: astrometria, fotometria in banda G e $UBVRI$ -like. $A_p = 1.7 \times 0.7 \text{ m}^2$. Disco di Airy di $135 \times 325 \text{ mas}^2$ a $\lambda = 550 \text{ nm}$. $FOV = 0.80 \times 0.68 \text{ deg}^2$.
- Spectro: velocità radiali e fotometria a banda media. $A_p = 0.75 \times 0.70 \text{ m}^2$. $FOV = 2 \times 1 \text{ deg}^2$.
- CCD sensibili da 250 a 1050 nm (banda G), con pixel di $9 \times 27 \mu\text{m}^2 = 37.2 \times 111.6 \text{ mas}^2$.

Piano Focale degli Strumenti Astrometrici

- Un mosaico di $\simeq 300$ CCD, lungo il quale gli oggetti si muovono per effetto della rotazione del satellite. Le cariche vengono spostate lungo i CCD con la stessa velocità.



- La sua struttura riflette la filosofia di osservazione adottata, che è quella di massimizzare l'informazione scientifica per bit trasmesso a terra
- ASM: rivelazione degli oggetti
- AF: astrometria e fotometria in banda G degli oggetti rivelati
- PSM: mappatura fotometrica di tutto il cielo in banda G
- BBP: fotometria a banda larga ($UBVRI$ -like) degli oggetti rivelati

Performance

- Survey astrometrica, fotometrica e spettroscopica
- Copertura di tutto il cielo
- Una magnitudine limite di $V \simeq 20$
- Un campione completo alla magnitudine limite di $\simeq 10^9$ oggetti (25 000 oggetti/deg²)
- Elevata accuratezza: 10 μ as, 5 mmag e 1 km/s a $V = 15$
- Elevata risoluzione spaziale: fino a 0.25 arcsec

Obiettivi Scientifici

- Astrofisica Galattica
- Scala delle Distanze
- Sistema Solare
- Gruppo Locale
- Galassie
- Astrofisica Stellare
- Fisica Fondamentale
- Pianeti Extra-Solari
- Supernovae
- Quasars

Obiettivi della Tesi

- GAIA può “naturalmente” realizzare una survey astrometrica e fotometrica di galassie



- Discriminazione di oggetti puntiformi e oggetti diffusi
- Determinazione di un appropriato binning dei CCD
- Sviluppo di una tecnica per la combinazione delle diverse osservazioni
- Stima della performance
- Discussione dei risultati scientifici

Modello Statistico delle Galassie

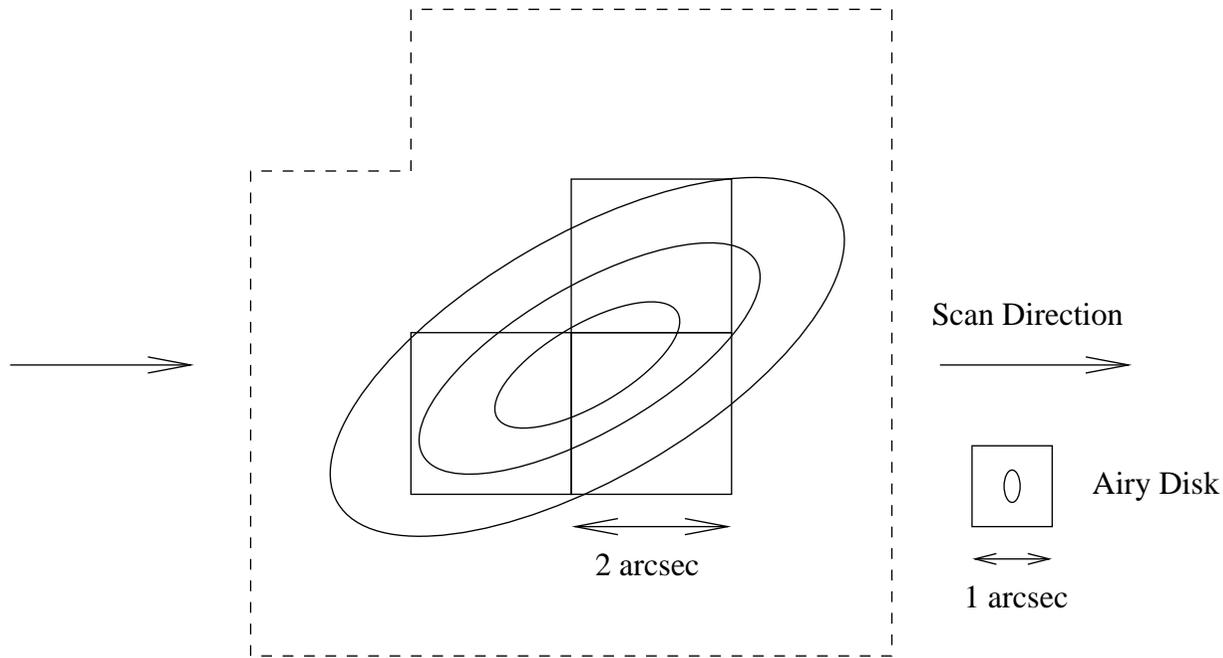
- Il modello combina una serie di osservazioni con leggi empiriche che descrivono i profili di brillantezza superficiale tipici delle galassie. Le variabili indipendenti sono il tipo morfologico (E o D) e la magnitudine totale in banda I , in funzione delle quali il modello restituisce:
 - Conteggi differenziali: $N = N(I)$
 - Conteggi cumulativi: $N_c = N_c(I)$
 - Raggio effettivo: $r_e = r_e(I)$
 - Brillantezza superficiale effettiva per E e D: $\Sigma_{E,e} = \Sigma_{E,e}(I)$ e $\Sigma_{D,e} = \Sigma_{D,e}(I)$
 - Profilo di brillantezza superficiale per E e D:

$$\Sigma_E(r) = \Sigma_{E,e} \exp \left(-7.6692 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{1/4} - 1 \right] \right)$$

$$\Sigma_D(r) = 0.76931 \Sigma_{D,e} \exp \left(-7.6692 \left[\left(\frac{1.6617 r}{r_e} \right)^{1/4} - 1 \right] \right) + 2.9343 \Sigma_{D,e} \exp \left(-\frac{1.3945 r}{r_e} \right)$$

- Validità del modello: entro 0.2 mag/arcsec² fino a $\simeq 4 r_e$

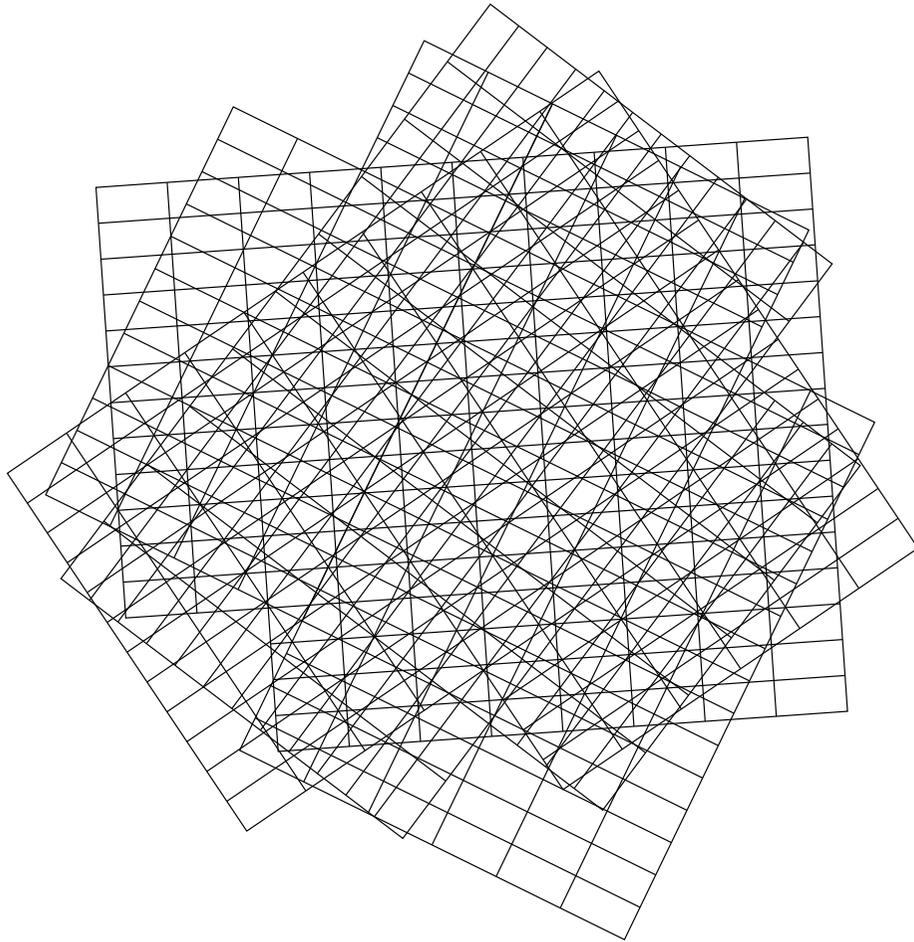
Rivelazione di Galassie



- Le galassie sono rivelate nell'ASM come una brillantezza superficiale significativamente ($S/N > 4$) in eccesso rispetto al fondo cielo locale entro un'area di 2×2 arcsec².
- Ogniqualvolta una galassia viene rivelata, l'area di cielo corrispondente e i suoi dintorni vengono osservati nel BBP.

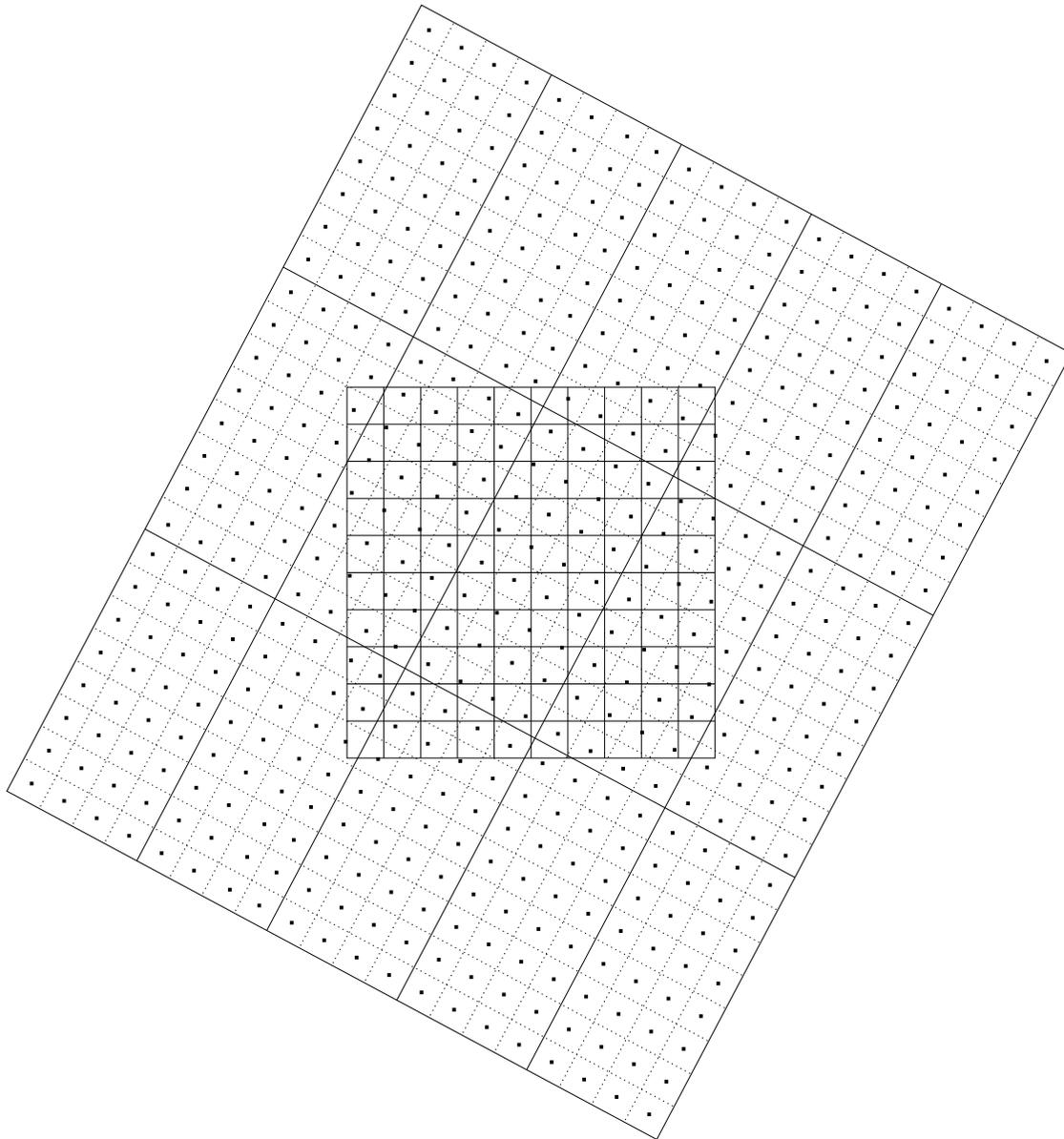
- Una galassia di $I = 17$ verrebbe rivelata nel 60% dei casi
- $I \leq 17$ e $|b| > 15 \Rightarrow$ almeno 3 milioni di galassie

Osservazione di Galassie



- Il binning adottato determina il livello di under-sampling, la risoluzione angolare, l'accuratezza in fotometria superficiale e la telemetria richiesta per l'osservazione
- Le diverse osservazioni di una stessa galassia sono centrate e orientate diversamente le une rispetto alle altre

Subpixeling e Rebinning



- I pixel dell'immagine vengono prima divisi in un certo numero di subpixel quadrati di uguale area, ciascuno contenente una uguale frazione dei conteggi del pixel originario
- I conteggi associati ad un subpixel vengono poi assegnati al pixel dell'immagine finale che contiene il centro del subpixel
- Questo procedimento conserva il flusso totale ma non recupera la risoluzione ottica persa a causa dell'undersampling
- Le tecniche sviluppate per recuperare la risoluzione ottica in immagini HST WFPC2 affette da undersampling non sono applicabili

Simulazione e Sovrapposizione delle Osservazioni

Simulazione

Sovrapposizione

Immagine HST WFPC2



- Conversione dei conteggi
- Subpixeling
- Rototraslazione
- Rebinning
- Convoluzione con la PSF di GAIA
- Aggiunta di rumore Poissoniano e RON



Osservazione simulata GAIA BBP

Osservazione simulata GAIA BBP



- Subpixeling
- Contro-rototraslazione
- Rebinning



Mapa di flusso simulata GAIA BBP



Binning di 6×4 pixel = 223.2×446.4 mas²

Mappe di Flusso: M100

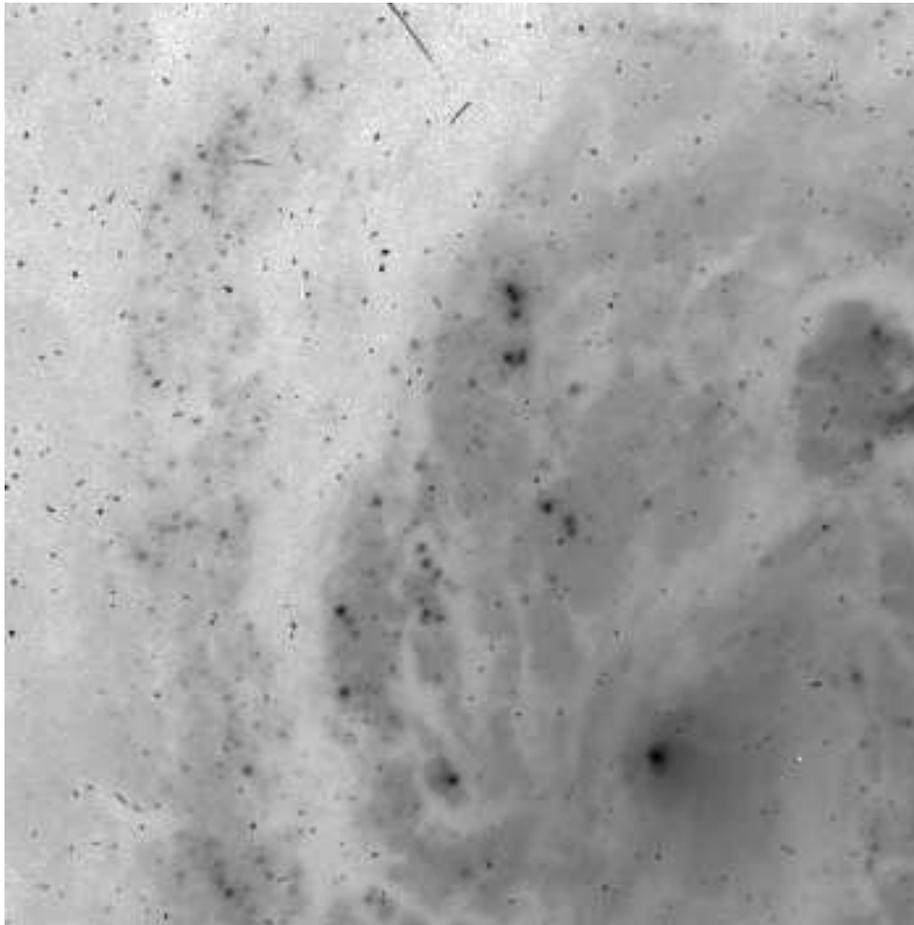
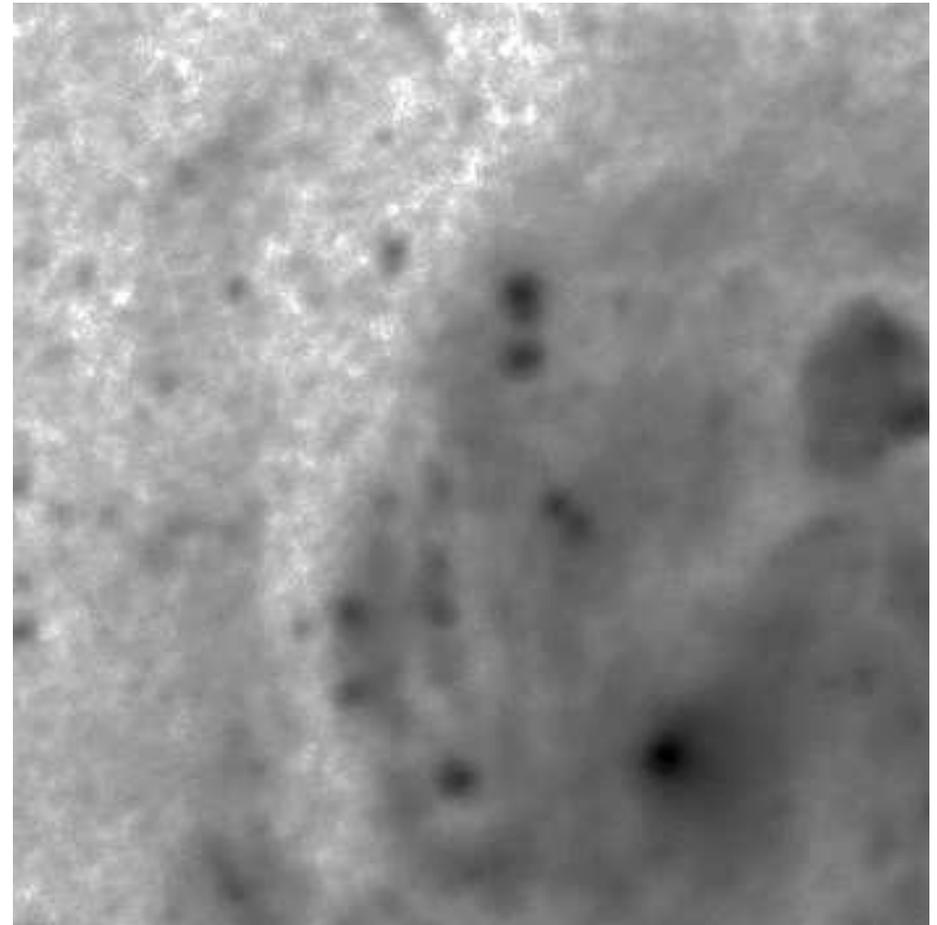


Immagine Originaria (HST WFPC2, 900 s)



Mappa di Flusso Simulata (GAIA BBP, 43.09 s)

- L'accuratezza in fotometria superficiale è di $0.15 \text{ mag/arcsec}^2$ a $\mu_V = 19.5 \text{ mag/arcsec}^2$

Risoluzione Angolare delle Mappe di Flusso: un dettaglio di M100

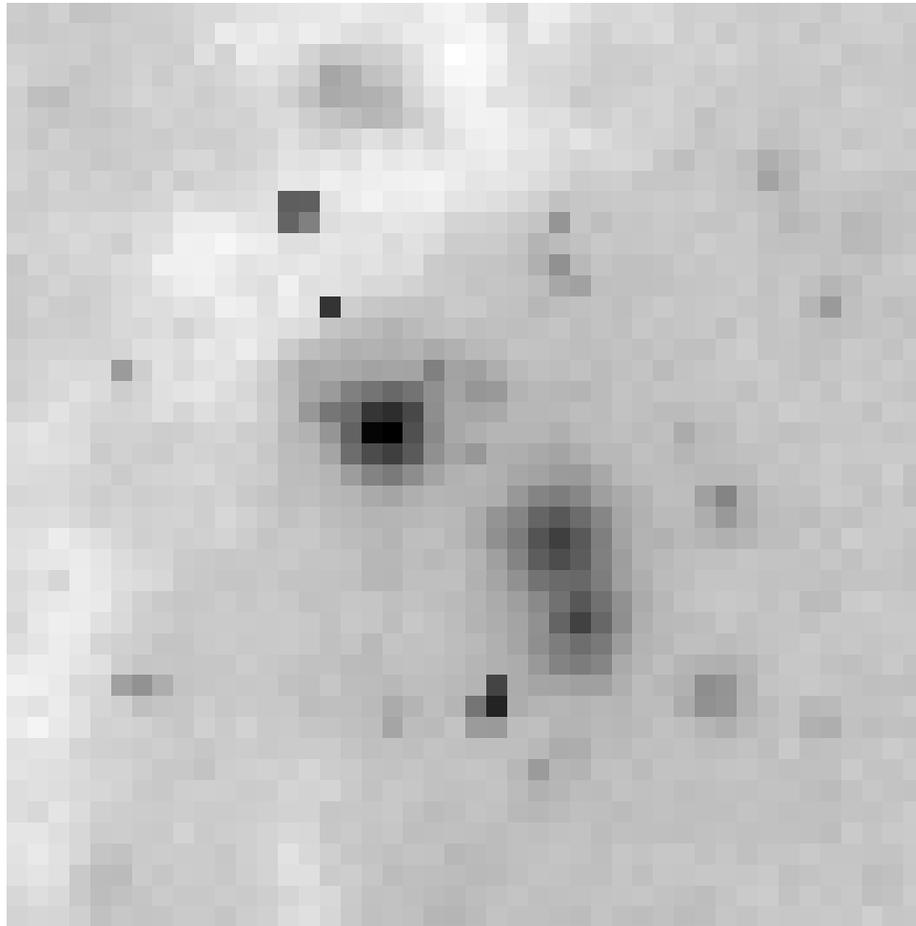
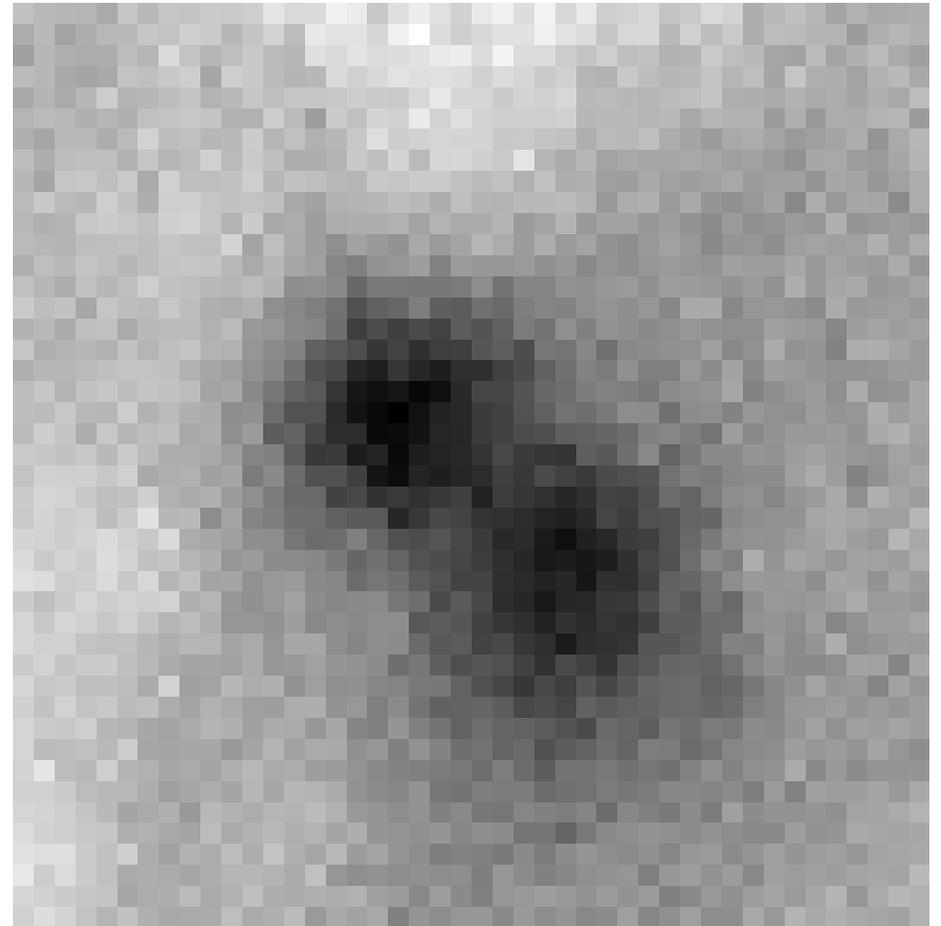


Immagine Originaria (HST WFPC2, 900 s)



Mapa di Flusso Simulata (GAIA BBP, 43.09 s)

- La risoluzione angolare è migliore di 0.4 arcsec

Conclusioni: Performance

- Una survey astrometrica e fotometrica di galassie
- Una magnitudine limite di $I \simeq 17$, corrispondente a $z \simeq 0.1$ o $d \simeq 400$ Mpc
- Una copertura di almeno il 75% del cielo fino a basse latitudini Galattiche
- Un campione di almeno 3 milioni di galassie
- Osservazioni in diversi colori (4-5 bande *UBVRI*-like)
- Osservazioni multi-epoca (in media 85 osservazioni in 5 anni)
- Una risoluzione angolare migliore di 0.4 arcsec
- Un'accuratezza in fotometria superficiale di $0.15 \text{ mag/arcsec}^2$ a $\mu_V = 19.5 \text{ mag/arcsec}^2$.

Conclusioni: Risultati Scientifici

- Distribuzione Spaziale
 - Struttura su larga scala nell'Universo Locale
 - Moti peculiari nel Gruppo Locale
 - Rivelazione di “jitter” astrometrico nei nuclei galattici
- Fotometria Superficiale
 - Galassie brillanti: analisi dettagliata della morfologia
 - Galassie deboli: analisi statistica della struttura fotometrica nelle regioni centrali
 - Mappatura delle regioni di formazione stellare e delle bande di polvere
 - Rivelazione di variabilità fotometrica nei nuclei galattici