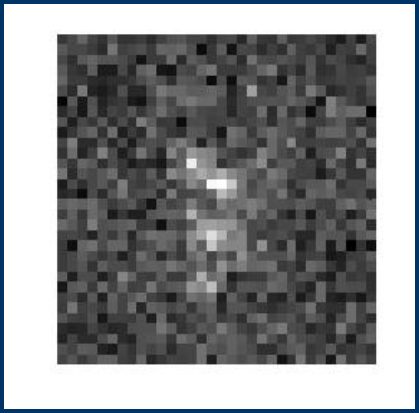
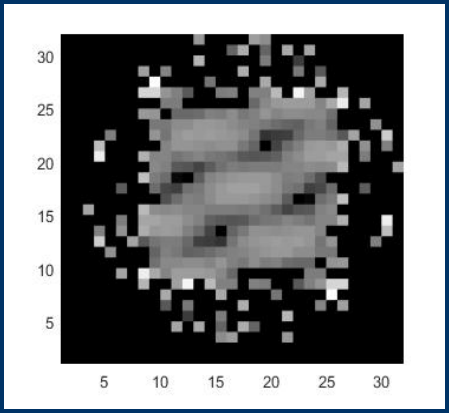
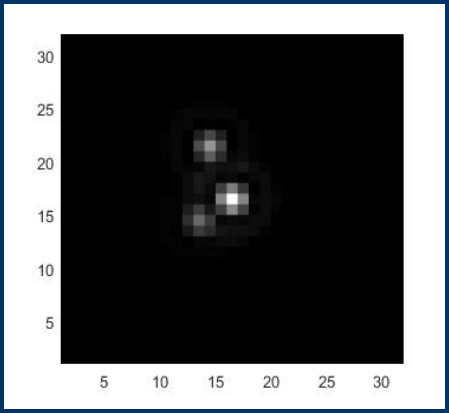
Stelle doppie e non solo...

Ricostruzione di immagini limitate per diffrazione mediante interferometria speckle a doppio spettro





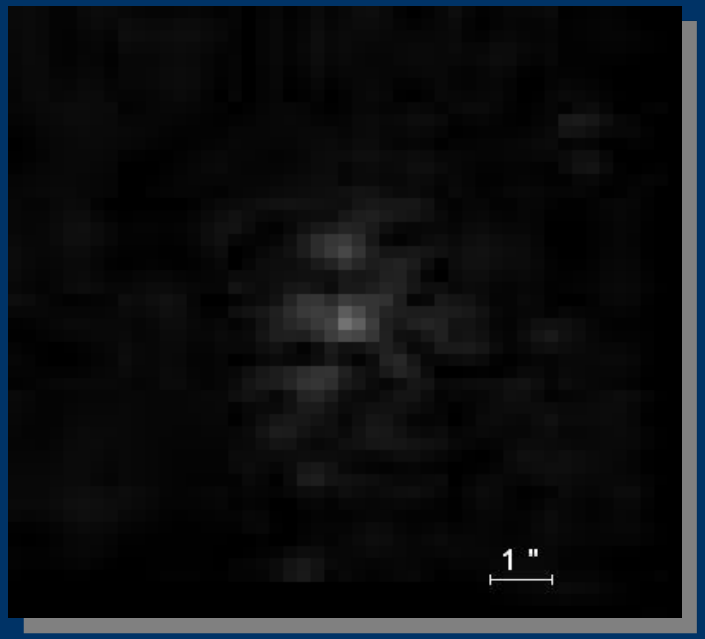


Roberto Maria Caloi

Unione Biellese Astrofili

La turbolenza atmosferica

- Introduce una deformazione del fronte d'onda in ingresso nel telescopio limitandone il potere di risoluzione indipendentemente dal diametro.
- In luogo del disco di Airy, viene generata un'immagine a macchie, detta speckle, che varia rapidamente nel tempo e di diametro normalmente ben superiore al disco di Airy.
- Limita la possibilità di risolvere stelle doppie strette.



Fotogramma della stella doppia STF 2583AB, sep

Potere risolutivo effettivo nel visibile

- Seeing tipicamente tra 0.5” (eccellente) e 5” (pessimo)

- Potere risolutivo teorico ≈ λ / D
- D = 0.235 m → 0.6”
- D = 0.4 m → 0.35”

- Quindi normalmente è il seeing a limitare il potere risolutivo di un telescopio (anche amatoriale)

Esempio: STF 1909

(5.2/6.1 mag, ρ=0.52", D=0.235m)

- Video di una stella singola di riferimento (3.75 FPS, 40 ms)

- Video della stella doppia STF1909 (3.75 FPS, 40 ms)

Ma, se non si ha a disposizione un telescopio con ottica adattiva o un telescopio spaziale, non tutto è perduto...

.. se si cattura una sequenza di immagini (centinaia) con tempi di esposizione molto brevi (al più qualche decina di millisecondi)

- SAA (Shift And Add) → corregge l'effetto spostamento (tilt)
- Frame Selection (manuale/automatico) → seeing effettivo migliore
- Speckle Interferometry (+DVA) → standard per stelle doppie (1970, 1992) → JDSO (2008)
- Triple Correlation/Bispectrum → full image reconstruction (1977, 1993) → JDSO (2018)

Dall'oggetto a sequenze di immagini

(1) $o(x)$: oggetto in base all'ottica geometrica

(2) $o(x) * PSF(x,t,\lambda)$: diametro finito + aberrazioni + atmosfera

(3) $P(o(x) * PSF(x,t,\lambda))$: photon noise (Poisson)

(4) $i(x) = P(o(x) * PSF(x,t,\lambda))+n_{th})+N(0,\sigma_e)$: thermal and read-out noise

- Ricavare una stima di $o(x)$ da sequenze osservate (4) → problema inverso

Spectrum, Power Spectrum, Bispectrum

DFT (2-D Discrete Fourier Transform)

$i(x) \rightarrow I(u)$

Power Spectrum $\rightarrow$ $PS(u)=|I(u)|^2$

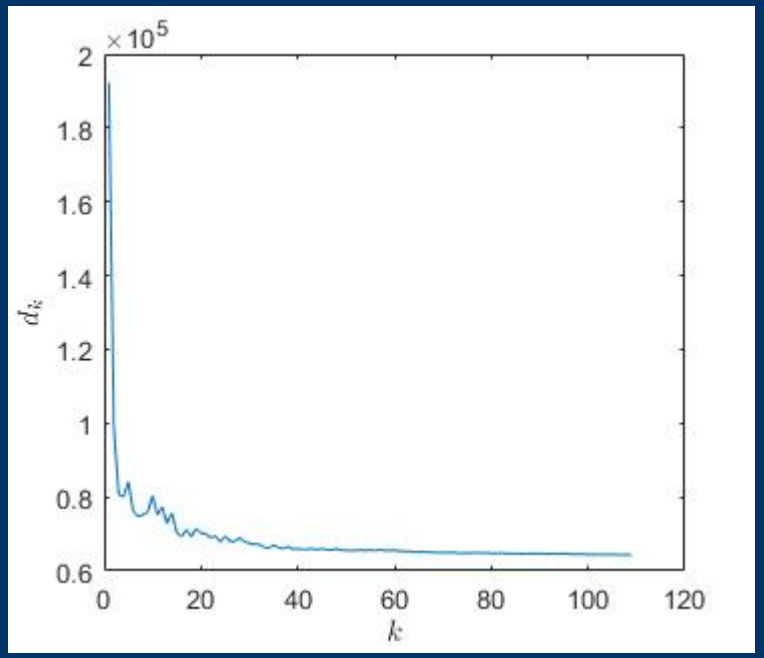
Bispectrum $\rightarrow$ $BS(u,v) = I(u)I(v)I(-u-v)$

Procedimento

- Usando una stella di riferimento, per deconvolvere lo spettro di potenza PS(u), si ricava |O(u)|^2, ovvero lo spettro di potenza dell'oggetto e la relativa varianza (incertezza)
- Dal doppio spettro BS(u,v), si ricava la fase del doppio spettro di o(x) e la relativa incertezza
- I due risultati vengono combinati per ottenere il doppio spettro di o(x) ovvero O(u)O(v)O(-u-v) e la relativa incertezza
- Tutte le stime devono essere corrette per effetti di bias.

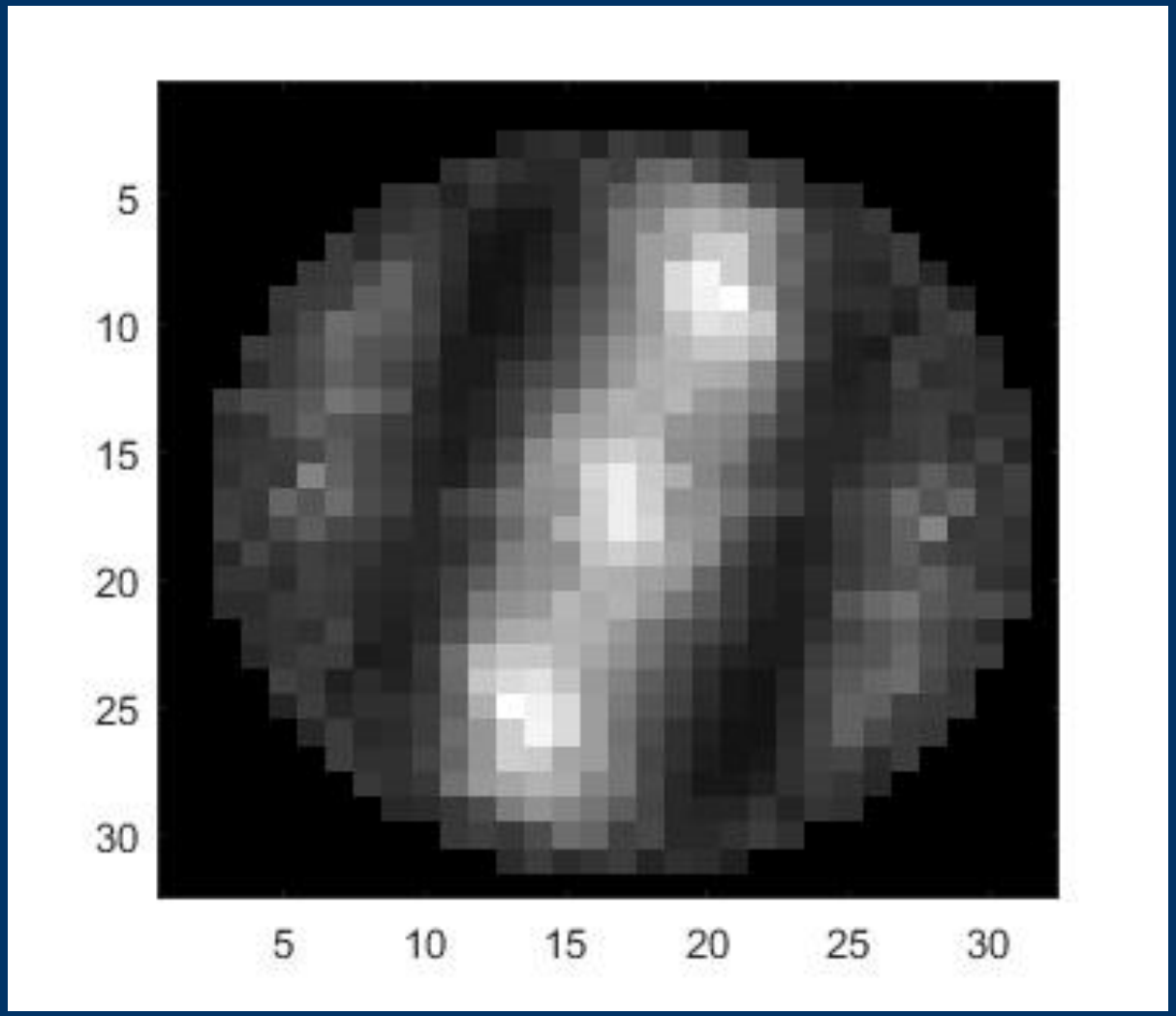
Ricostruzione dell'immagine

Trovare la migliore stima $o_k(x)$ di $o(x)$ noto il suo doppio spettro e relativa incertezza minimizzando una opportuna definizione di “distanza” d_k (4D), usando il Building Block Method (BBM)



Spettro di potenza di STF1909

(ρ=0.52", D=0.235m)



STF1909

(ρ=0.52”, D=0.235 m)

- Data : 2018.078
- Seeing ≈ 2-3”
- ρ = 0.48” +/- 0.05”
- θ = 80° +/- 7°
- Δm = 0.8 mag +/- 0.6

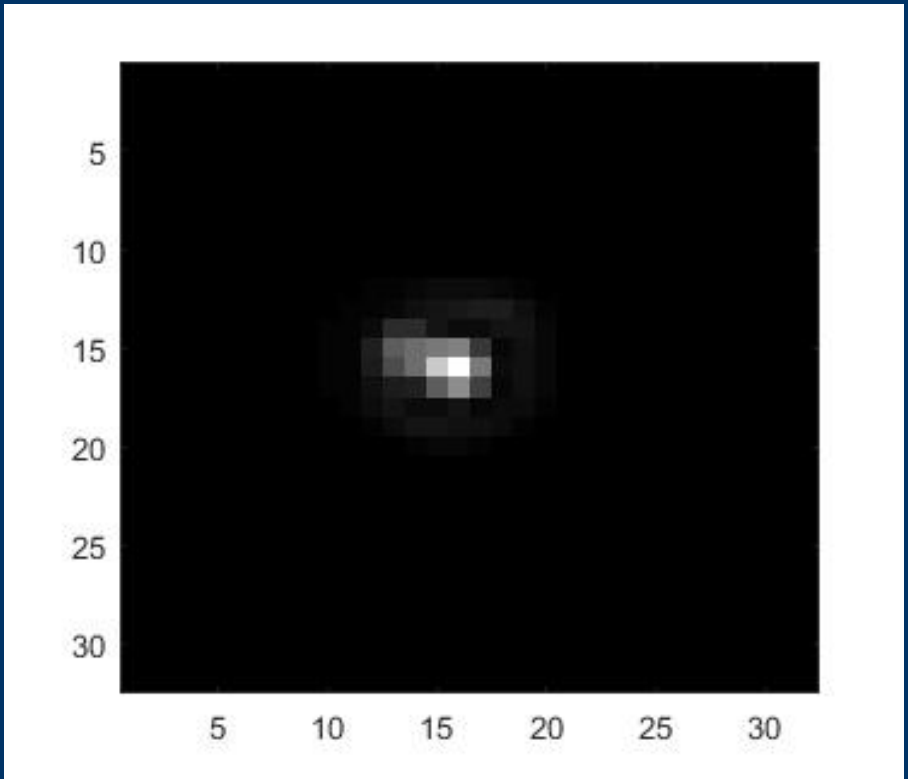


Immagine non corretta per l'orientamento dopo l'applica

Principale limitazione (piccolo telescopio e CCD economico)

- Oggetti relativamente luminosi (max. ≈ 8 mag)
- Massima differenza di magnitudine tra le componenti di un sistema binario stretto ≈ 2/3 mag

Sviluppi

- Messa a punto del codice scritto in Matlab
- Ottimizzazione: ora max 64 x 64 pixel
- Varianti BBM, altri metodi, oggetti estesi
- Segnalazioni di errori, commenti e suggerimenti sono benvenuti!
- Dettagli e bibliografia:
http://www.jdso.org/volume14/number4/Caloi_750_760.pdf