



Analisi dei Bolidi di PRISMA: dalle osservazioni alla traiettoria

D. Barghini^{1,2}, D. Gardiol¹ and A. Carbognani^{1,3}

1. INAF - Osservatorio Astrofisico di Torino
2. Università degli Studi di Torino – Dipartimento di Fisica
3. INAF - Osservatorio Astronomico della Regione Autonoma Valle d'Aosta



Contenuti

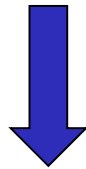
- **Riduzione astrometrica**
 - ✓ Identificazione delle sorgenti
 - ✓ Soluzione astrometrica completa
 - ✓ Errori di proiezione
- **Riduzione fotometrica**
 - ✓ Fotometria broadband
 - ✓ Calibrazione fotometrica assoluta
 - ✓ Efficienza vs ZD
 - ✓ Inquinamento luminoso
- **Analisi degli eventi**
 - ✓ Immagini divulgative
 - ✓ Astrometria del bolide



Camera PRISMA all'Osservatorio di Torino

Dati di calibrazione: Captures

Set di immagini a 5 sec di esposizione, acquisite ogni 10 minuti da FREETURE.

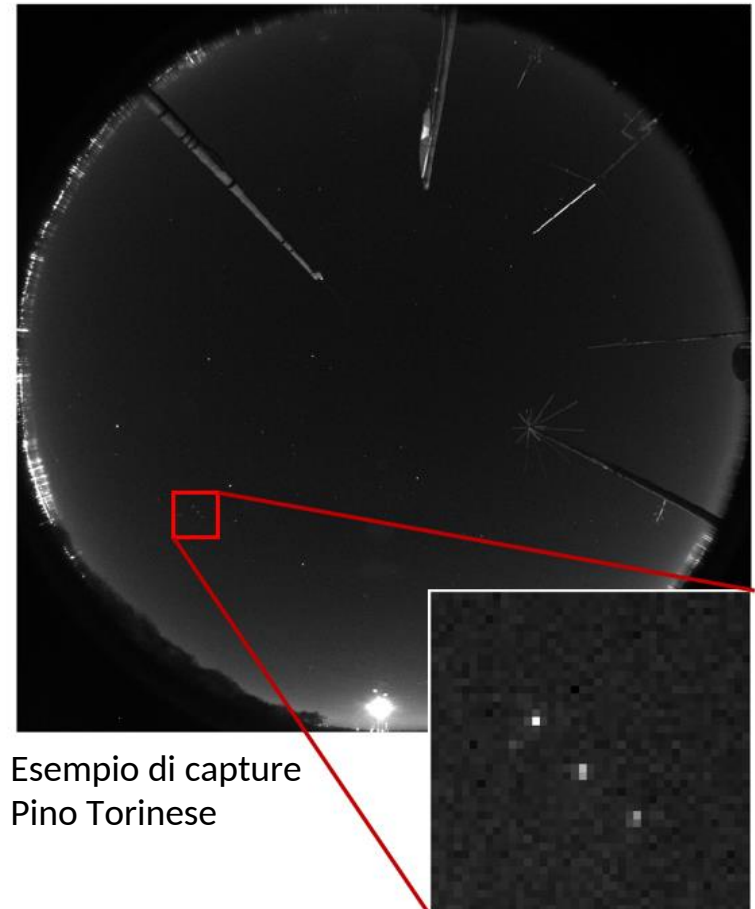


Calibrazione dello strumento



Astrometria

Fotometria



Esempio di capture
Pino Torinese

(Codice attualmente sviluppato in IDL 8.7)

Riduzione astrometrica

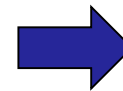
Astrometria di camere fish-eye: Z. Ceplecha^[1] (1987)

J. Borovicka et al. (1992-1995) [2-3]

$$\left\{ \begin{array}{l} b = a_0 - E + \text{atan} \left(\frac{y - y_c}{x - x_c} \right) \\ u = Vr + S(e^{Dr} - 1) \\ r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} a = E + \text{atan} \left[\frac{\sin u \sin b}{\sin u \cos b \cos \epsilon + \cos u \sin \epsilon} \right] \\ z = \text{acos} [\cos u \cos \epsilon - \sin u \cos b \sin \epsilon] \end{array} \right.$$

Problemi noti:

[Molti parametri da determinare
 Trasformazioni fortemente non-lineari



[Sensibilità del risultato
 rispetto ai valori iniziali
 Convergenza non ottimale

[1] Zdenek Ceplecha, Astronomical Institutes of Czechoslovakia Bulletin 38 222-234 (1987)

[2] J. Borovicka, Pub. Astron. Inst. Czech. Acad. Sci. 79 19

[3] J. Borovicka et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 112 173-178 (1995)

Identificazione delle sorgenti

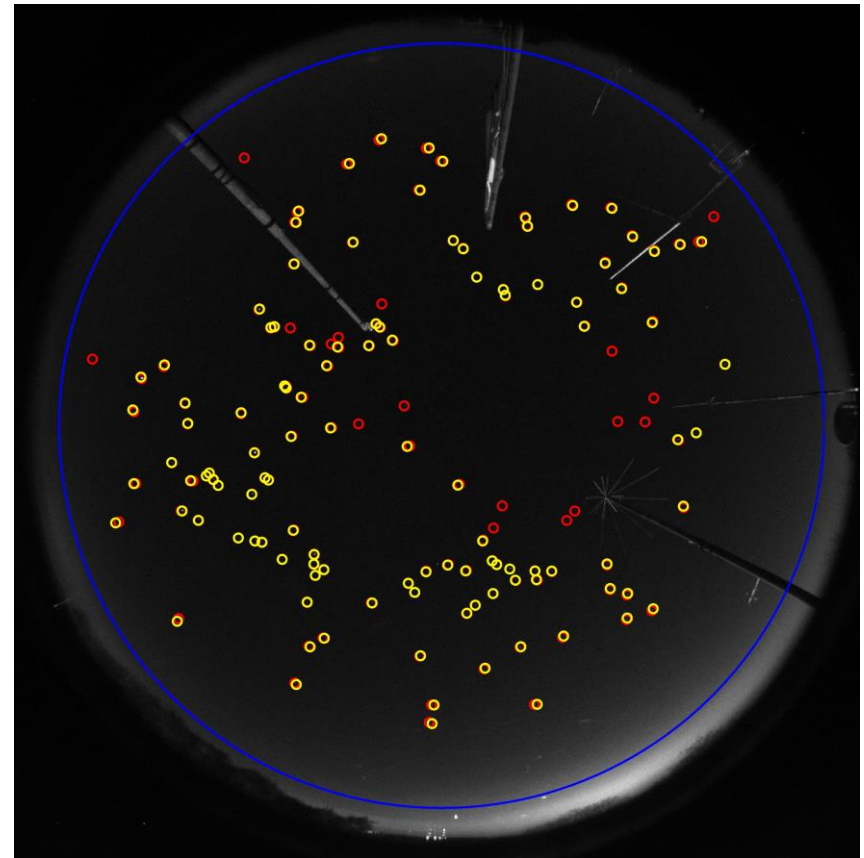
Determinazione delle associazioni col catalogo: modello semplificato (bias noto di $\pm 1-2^\circ$)

$$\begin{cases} a = a_0 + a \tan\left(\frac{y - y_c}{x - x_c}\right) \\ z = P_1 r + P_2 r^2 \\ r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \end{cases}$$

4000-6000 associazioni in una notte fotometrica

Sorgenti identificate

Proiezione del catalogo in (x,y) per sorgenti associate

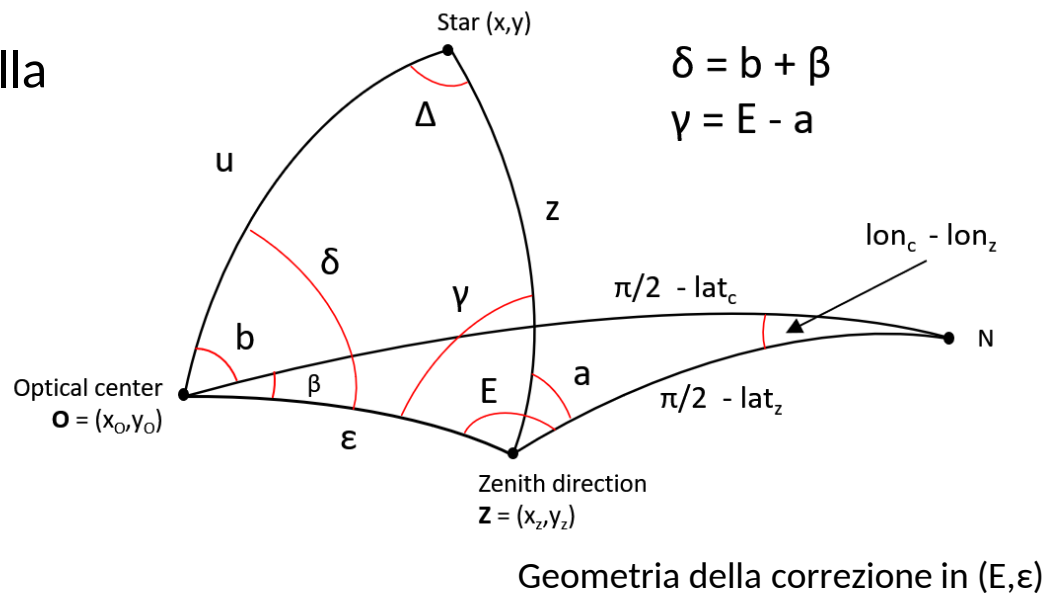


Esempio di capture - Pino Torinese

Soluzione astrometrica completa

Nuova parametrizzazione della correzione in (E, ϵ)

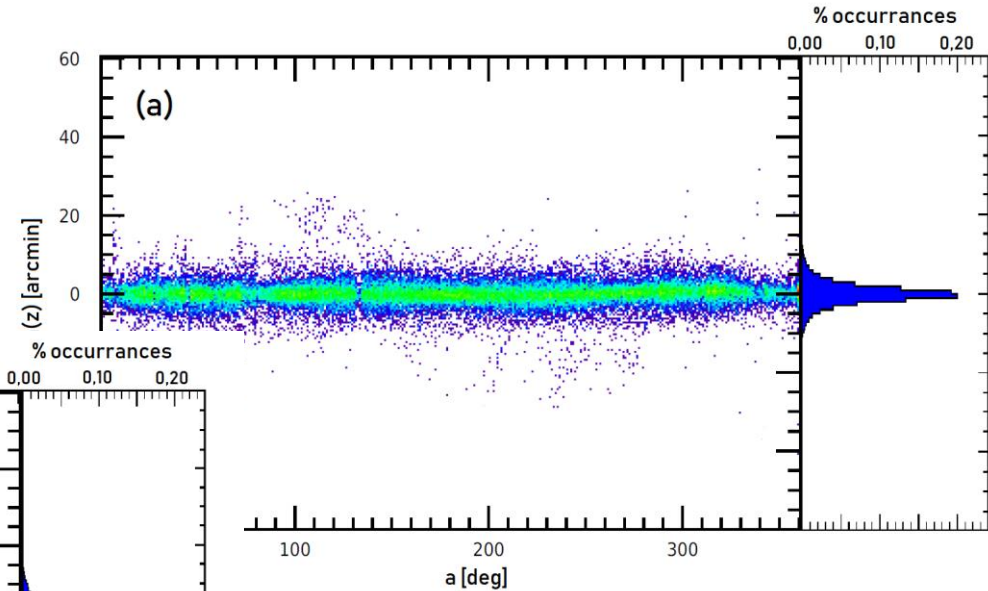
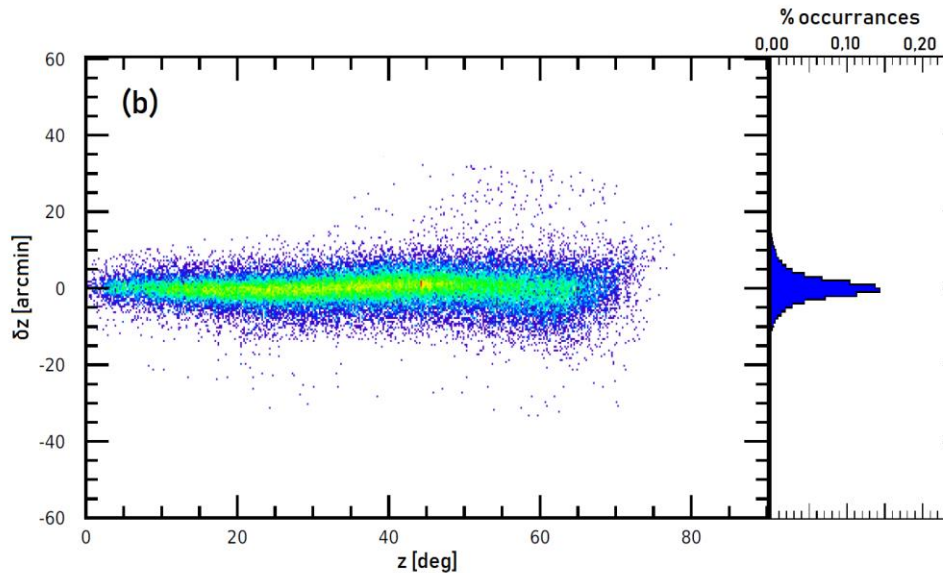
- ✓ Stime iniziali facilmente determinabili
- ✓ Crosstalk ridotto fra i parametri



$$(a_0, x_0, y_0, V, S, D, E, \epsilon) \rightarrow (a_0, x_0, y_0, V, S, D, x_z, y_z)$$

Risultati (1) – Residui del fit

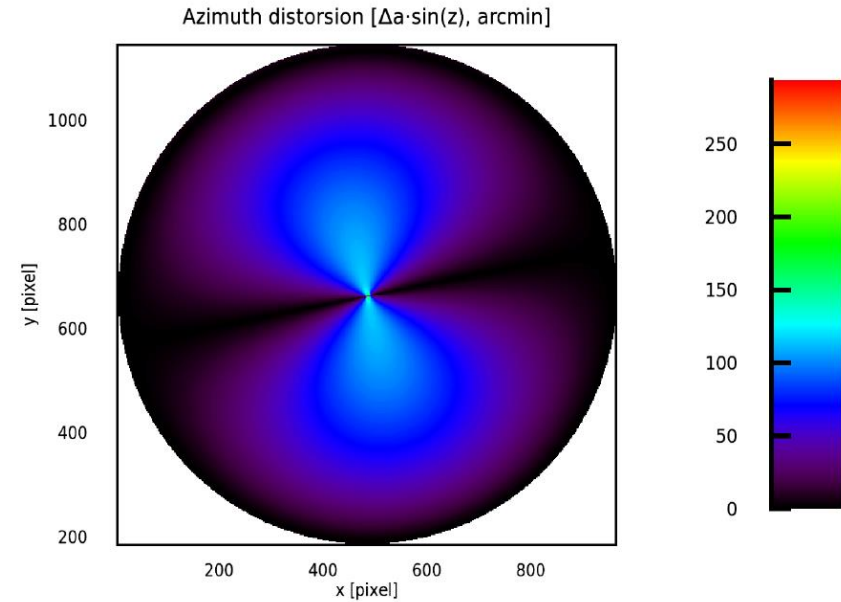
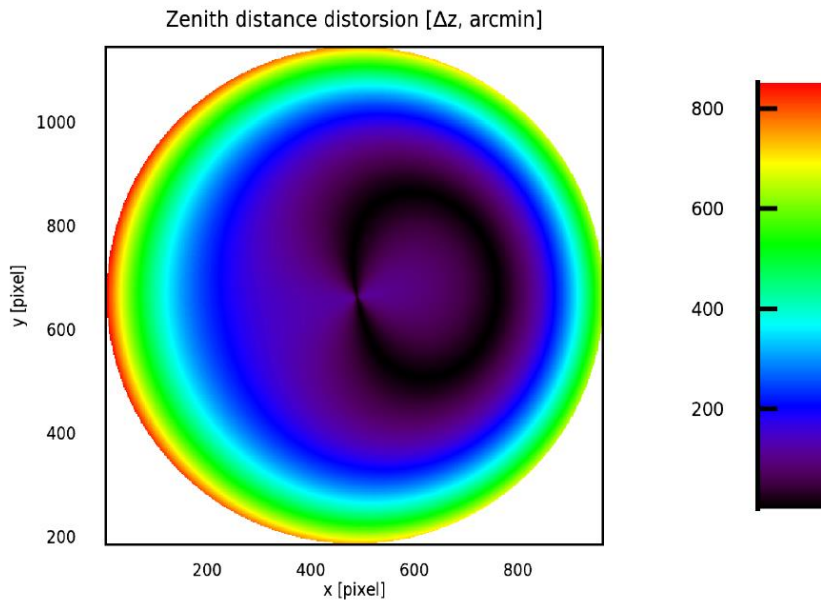
Statistica mensile
 (30000-60000
 associazioni)



Residui astrometria 01/2017 – Pino Torinese

Risultati (2) - mappe di distorsione

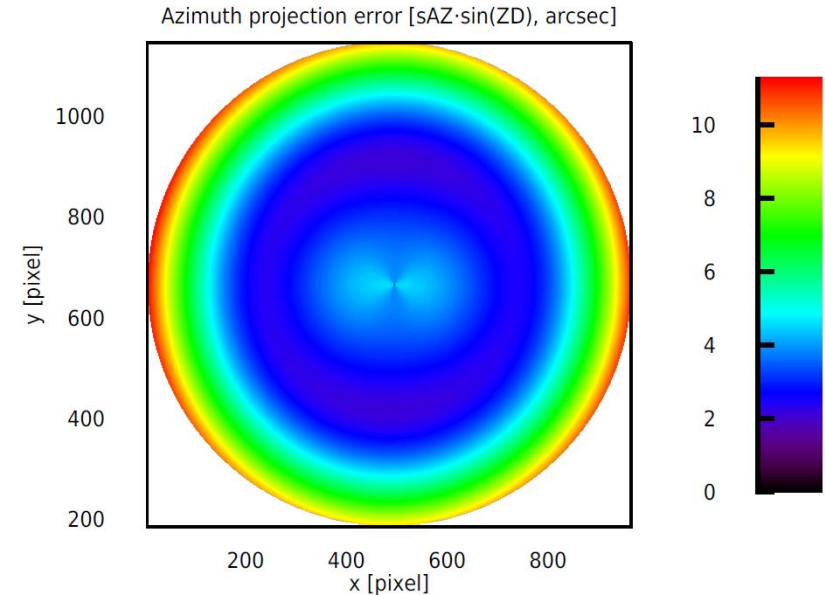
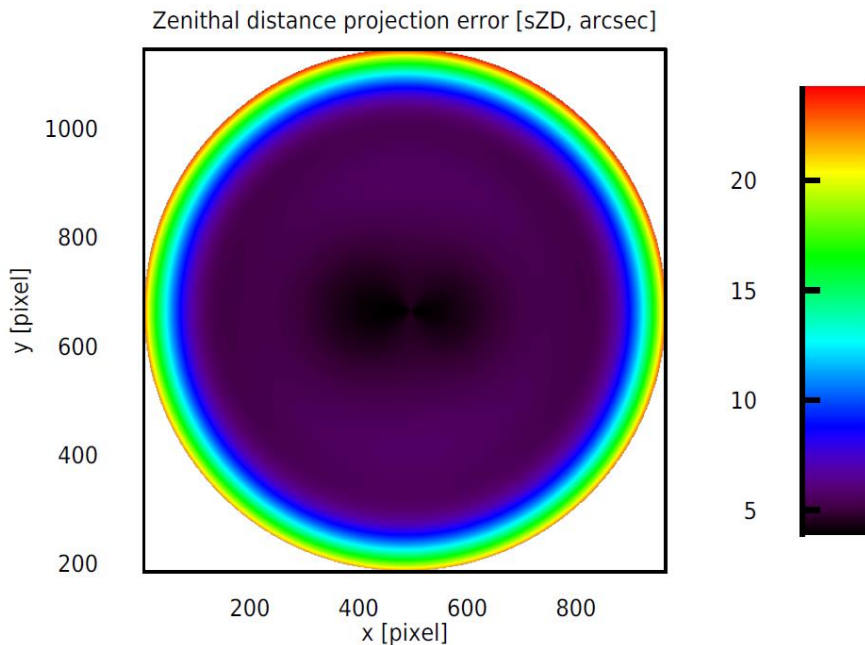
Valutazione dell'importanza delle correzioni dei termini di distorsione del modello completo



- ✓ dell'ordine dei gradi
- ✓ mai trascurabili

Risultati (3) – Errori di proiezione

Errore statistico dovuto all'incertezza sull'indeterminazione dei parametri (propagazione delle covarianze)



- ✓ dell'ordine di 10 arcsec per statistiche mensili
- ✓ trascurabile rispetto all'errore sulla determinazione del centro della PSF (fino to 75°)

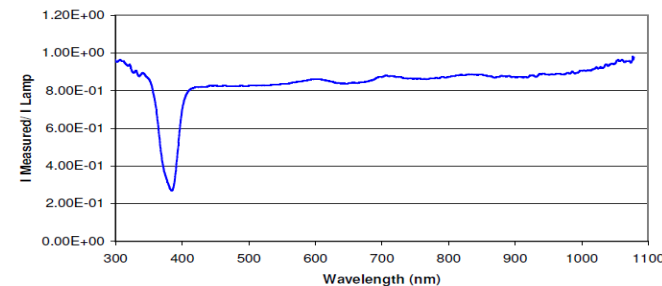
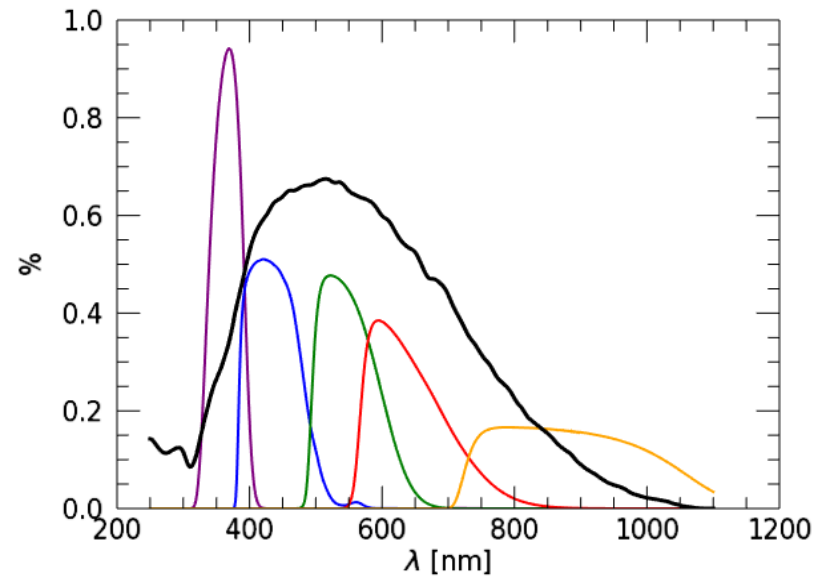
Calibrazione fotometrica (1)

Fotometria broadband

- ✓ QE del sensore CCD
- ✓ Filtri **UBVRI** di Johnson-Cousins
- ✓ Trasmissione del cupolotto di vetro



Magnitudine equivalente P_m
 (mag-PRISMA), strettamente
 correlata alla magnitudine V_m



V. Gagliarducci (OA Gorga)

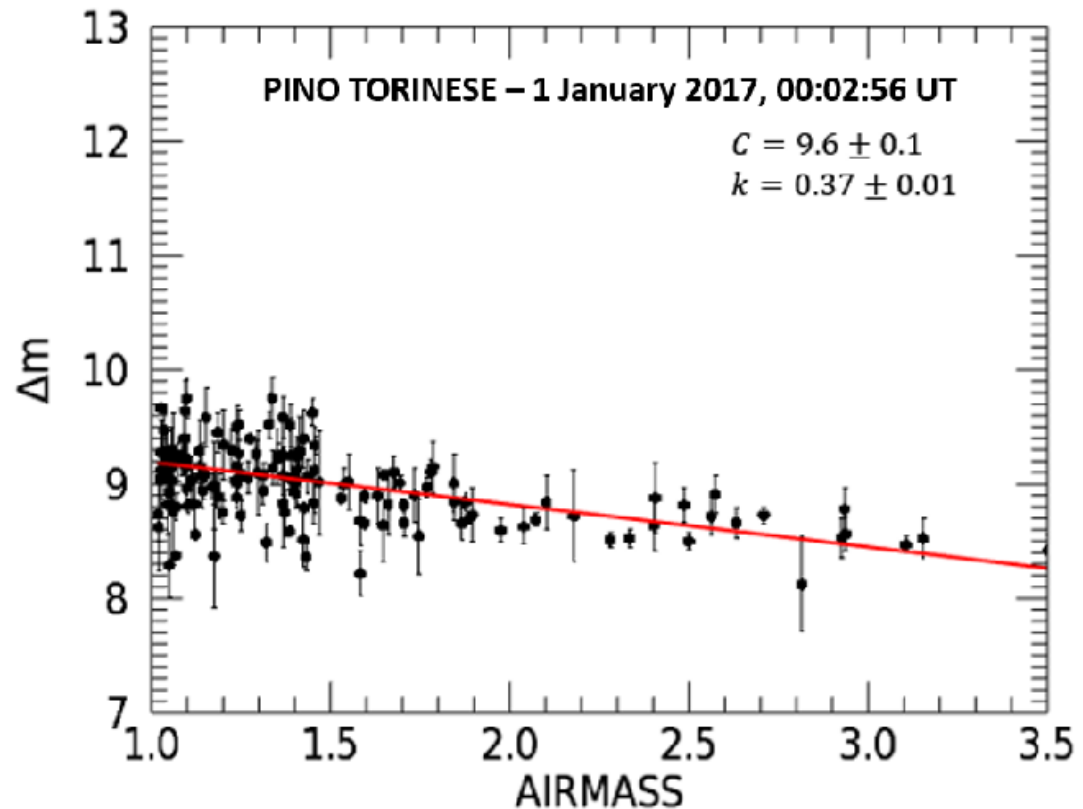
Calibrazione fotometrica (2)

Calibrazione del punto zero (C) e del coefficiente di estinzione atmosferica (k) su ogni immagine

$$m_s = -2.5 \log(F_s)$$

$$\begin{aligned} \Delta m &= m - m_s \\ &= C - kx \end{aligned}$$

↑
airmass



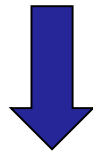
Esempio calibrazione C-k

Calibrazione efficienza vs ZD (1)

Camera PRISMA montata in
configurazione alt-az



Osservazione della stessa
porzione di cielo con diverse
direzioni di puntamento

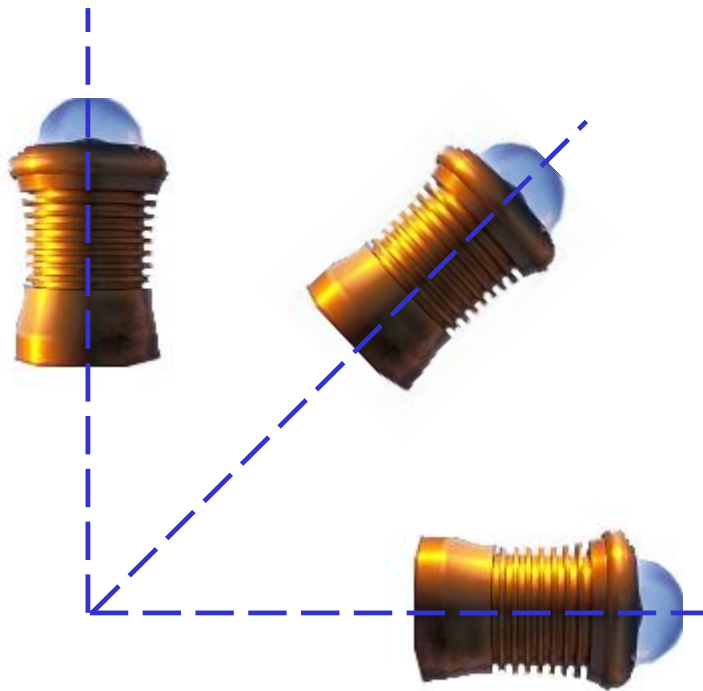


Dipendenza della sensitività del
sistema dalla distanza zenitale
(~ raggio sulla CCD?)

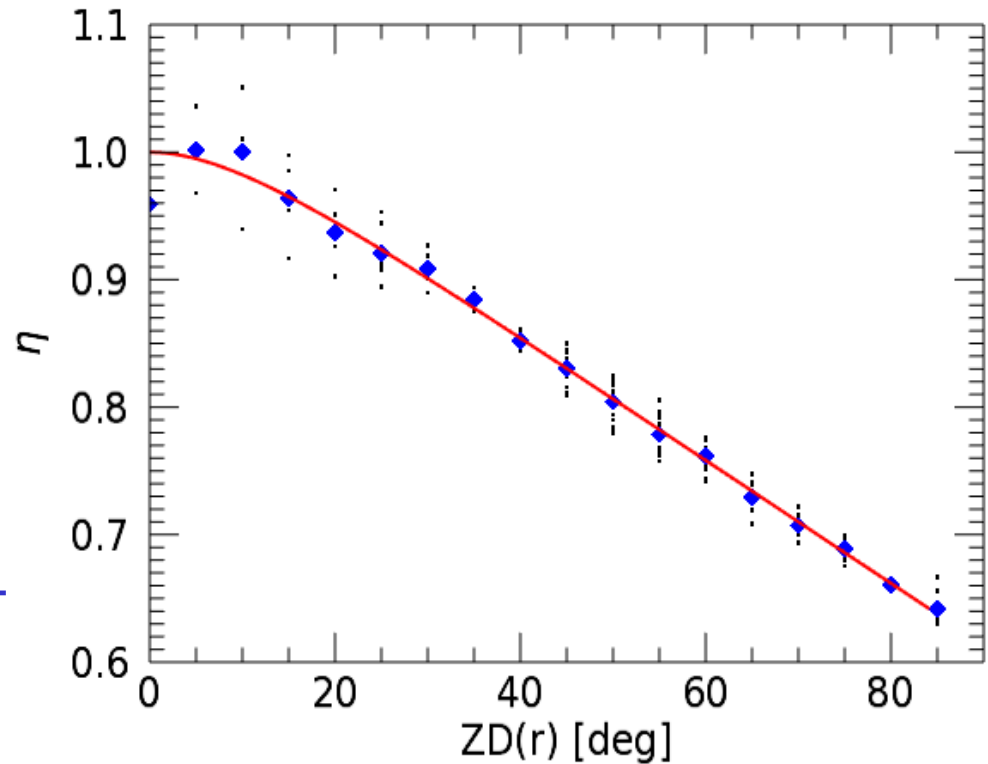


Montatura alt-az della camera PRISMA

Calibrazione efficienza vs ZD (2)



Schema illustrativo dell'esperimento

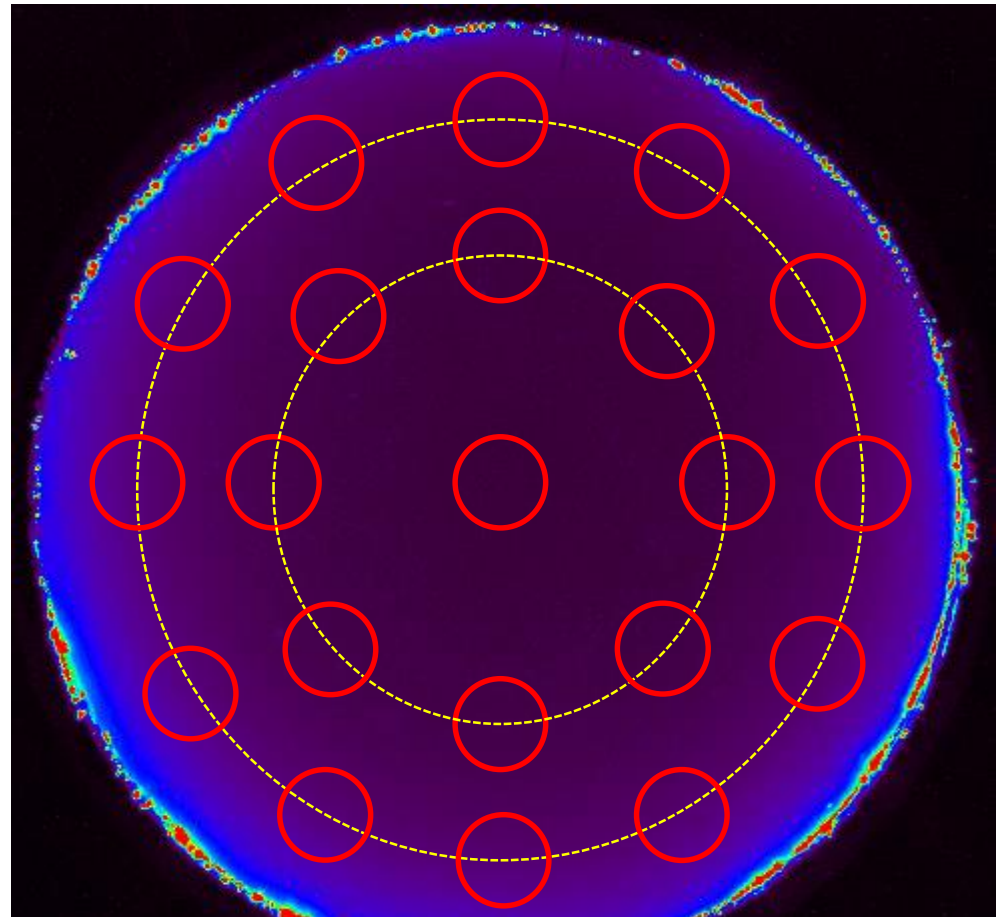


Risultati dell'analisi

Monitoraggio dell'inquinamento luminoso (1)

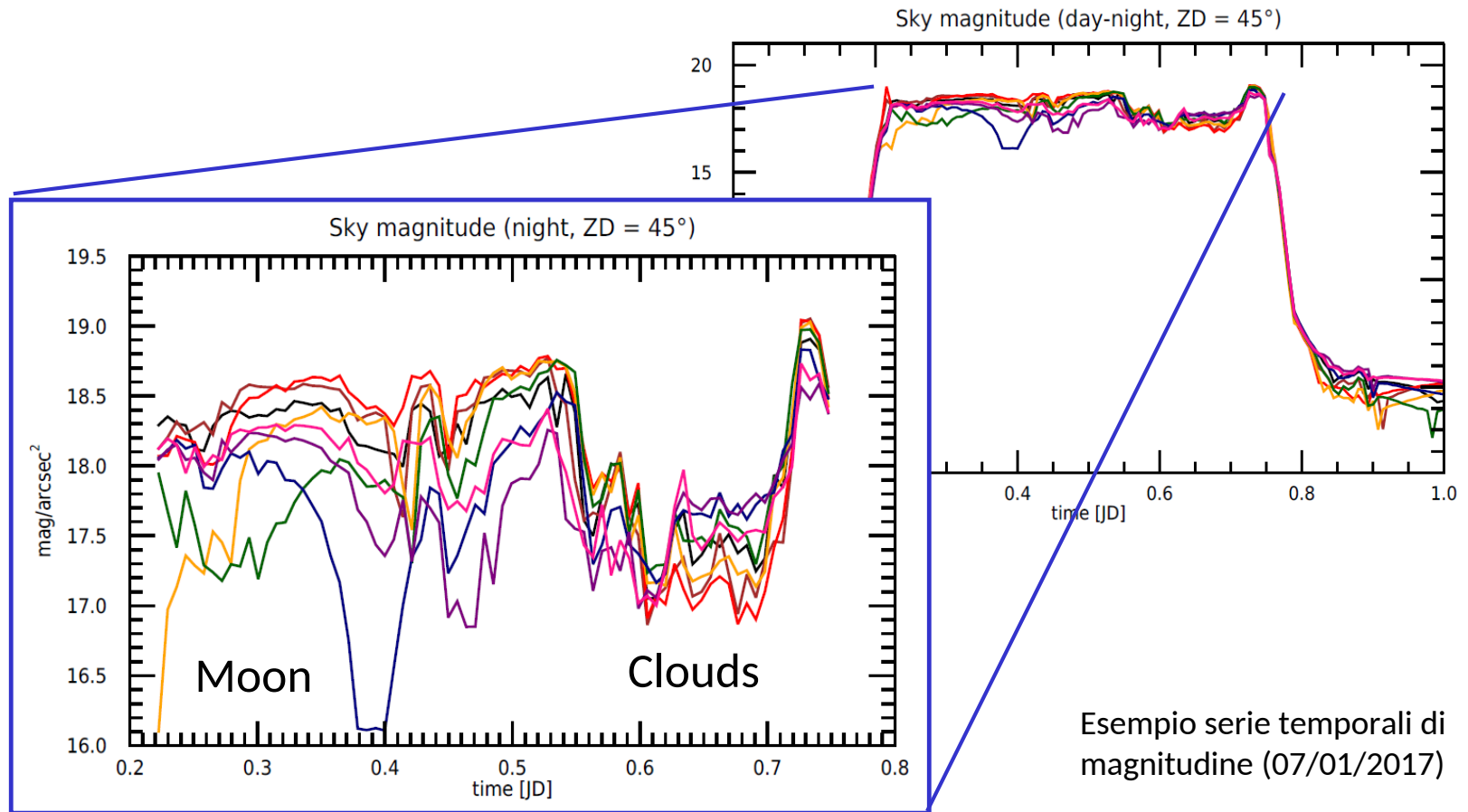
Misura della magnitudine del cielo dalle immagini di calibrazione (captures):

- ✓ Zenith
- ✓ 8 punti a 45° di altezza
- ✓ 12 punti a 20° di altezza



Schema posizione dei punti per il calcolo della magnitudine del cielo

Monitoraggio dell'inquinamento luminoso (2)



Output della pipeline astro-fotometrica

ITRRnn:

-> ITRRnn_yyyymmdd :

- ✓ _assoc.txt (catalogue associations:
image, JD, x, y, az, zd, mag)
- ✓ _astro.txt (simplified model parameters:
image, JD, N, a_0 , x_c , y_c , P_1 , P_n)
- ✓ _photo.txt (photometry results:
image, JD, exp. time, ephemeris, C, k, Z, M_n , L_n)
- ✓ _solution.txt (a_0 , x_0 , y_0 , x_z , y_z , V, S, D)
-

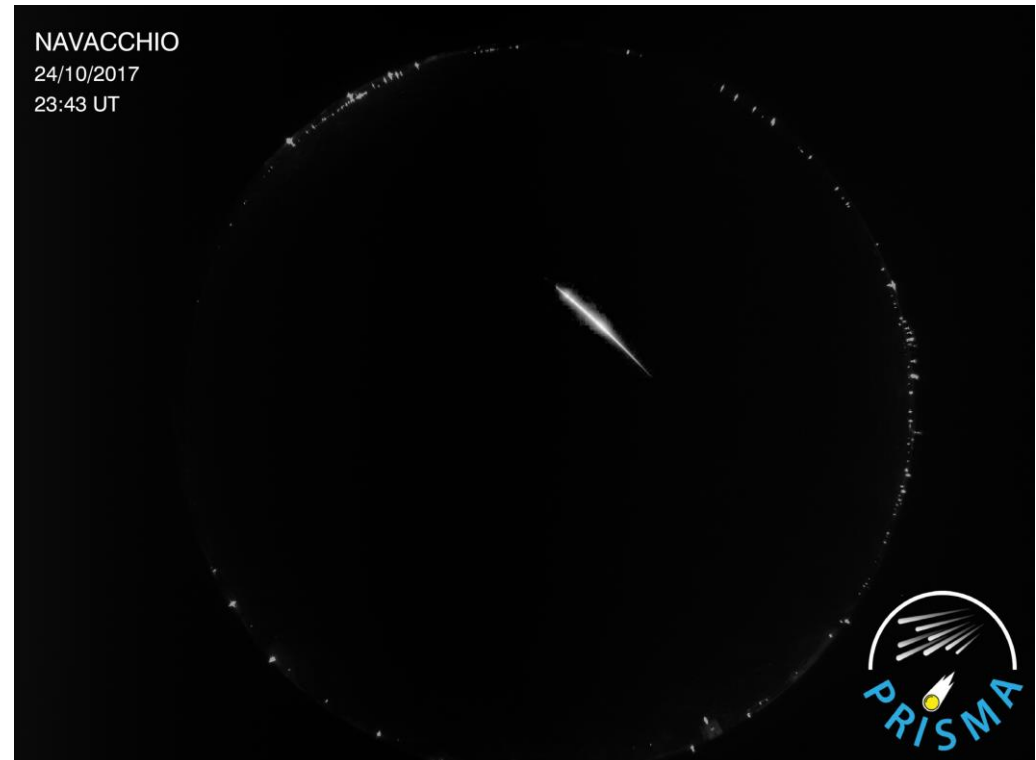
-> ITRRnn_yyyymm :

- ✓ _astro.txt (complete model parameters:
yyymmdd, JD, N, a_0 , x_0 , y_0 , x_z , y_z , V, S, D)
- ✓ _solution.txt (a_0 , x_0 , y_0 , x_z , y_z , V, S, D)
-

Analisi degli eventi

Frames a 1/30 sec di esposizione, acquisiti a 30 Hz

- Produzione automatica di immagini divulgative
- Individuazione del bolide sul frame e determinazione del centro della PSF
- Astrometria
 $(x, y) \rightarrow (a, z) \rightarrow (\alpha, \delta)$
- Fotometria (curve di luce)



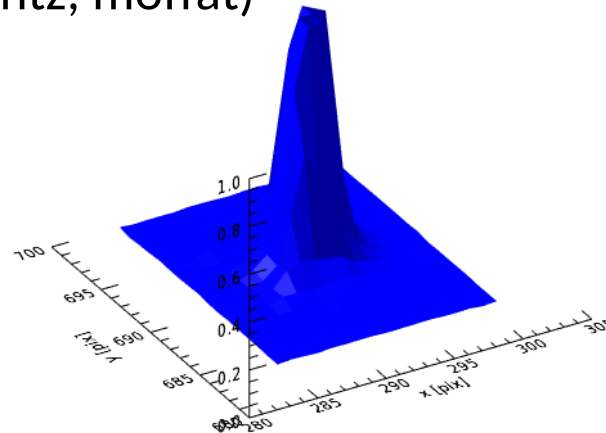
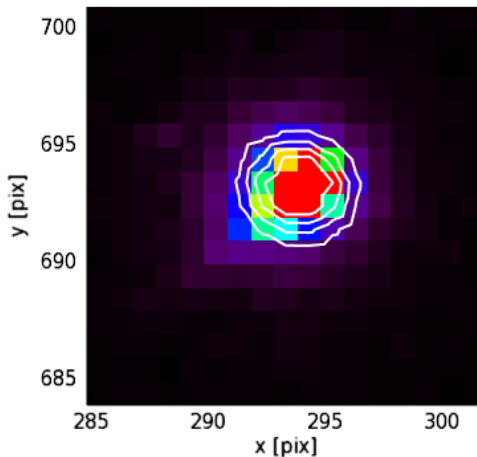
Esempio di immagine divulgativa prodotta dalla pipeline

Individuazione del bolide (1)

Problema: saturazione per eventi brillanti



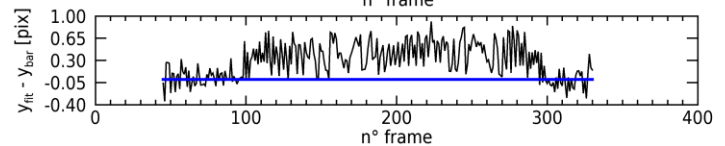
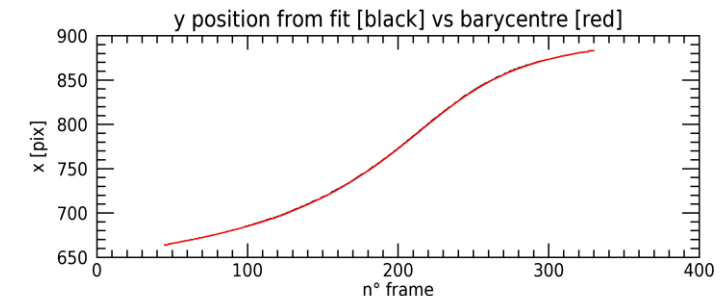
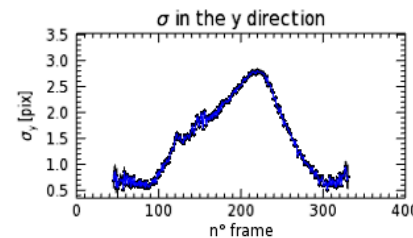
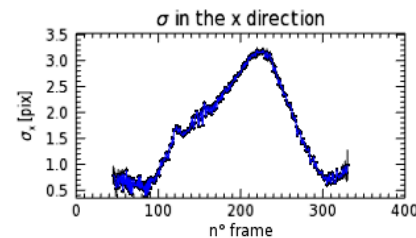
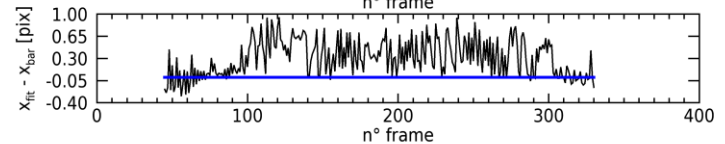
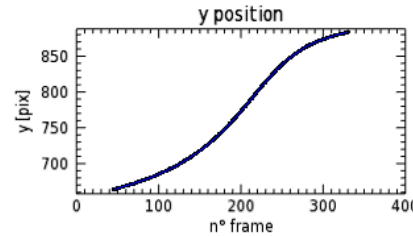
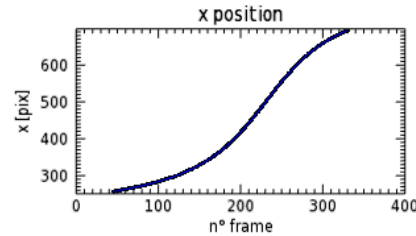
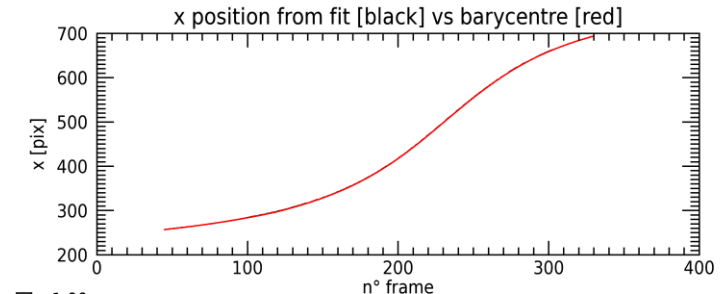
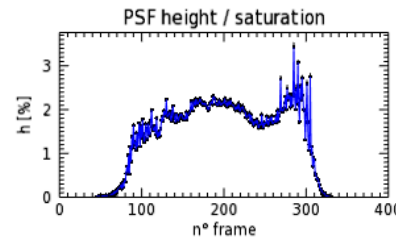
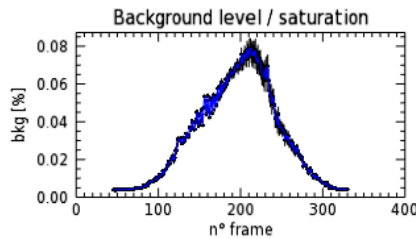
Fit della PSF saturata (gaussian, lorentz, moffat)



Metodi del baricentro/derivativi

IDL Astro User Lib
(*DAOPHOT*
FIND...)

Individuazione del bolide (2)

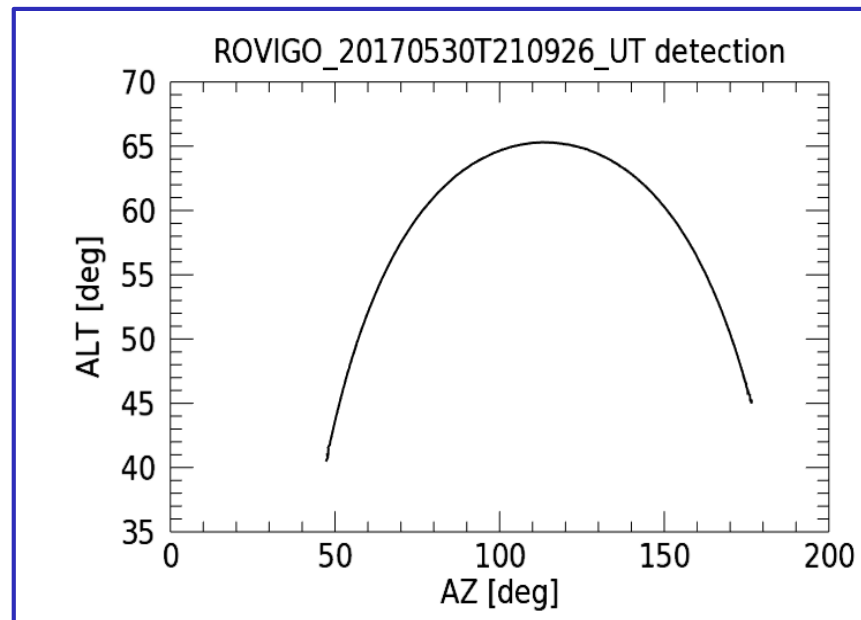
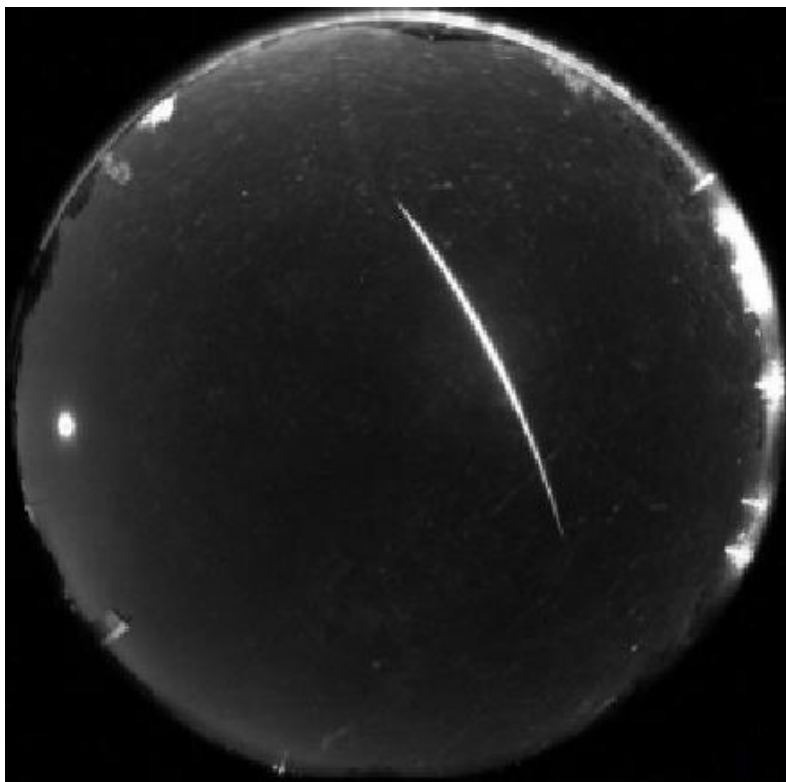
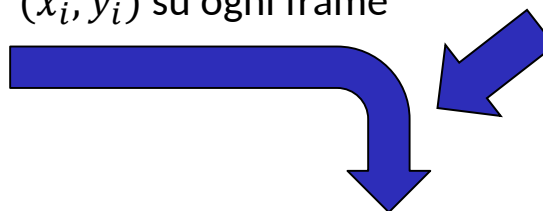


Esempio di risultati per il bolide del 30/05/2017 - stazione di Rovigo

Astrometria del bolide

$$P = (a_0, x_0, y_0, V, S, D, x_z, y_z)$$

(x_i, y_i) su ogni frame





Output della pipeline di riduzione degli eventi

yyyymmddThhmmss :

-> ITRRnn_ yyyymmddThhmmss :

- ✓ _mod1.txt (horizontal and celestial coordinates
frame, JD, az, zd, α , δ , mag)
- ✓ _mod2.txt (horizontal and celestial coordinates
frame, JD, az, zd, α , δ , mag)

...

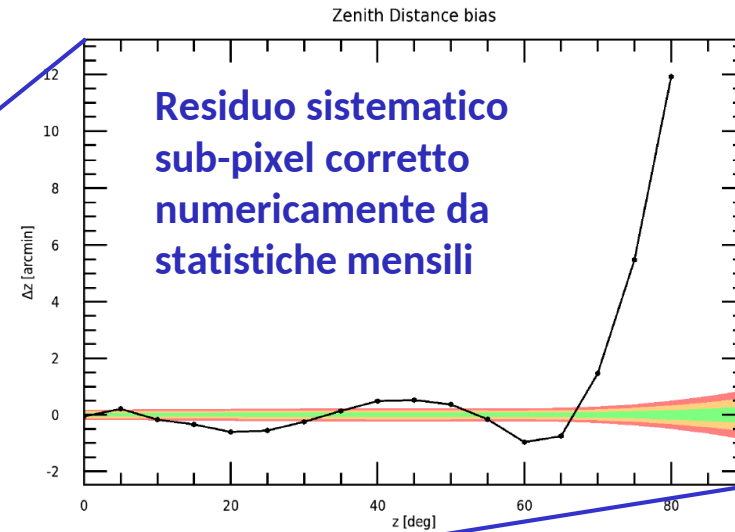
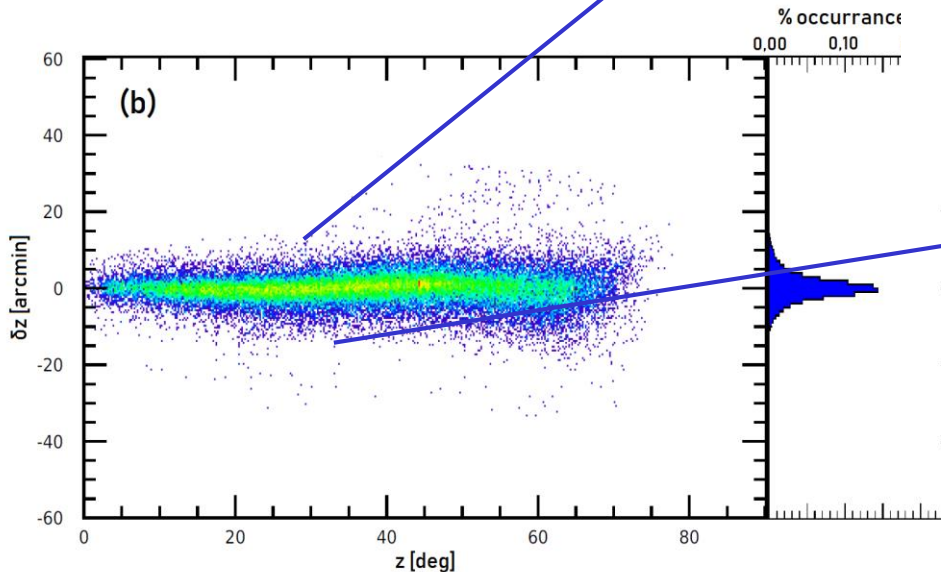


Grazie per l'attenzione!



Risultati (4) - correzione del bias residuo

Statistica mensile
 (30000-60000
 associazioni)

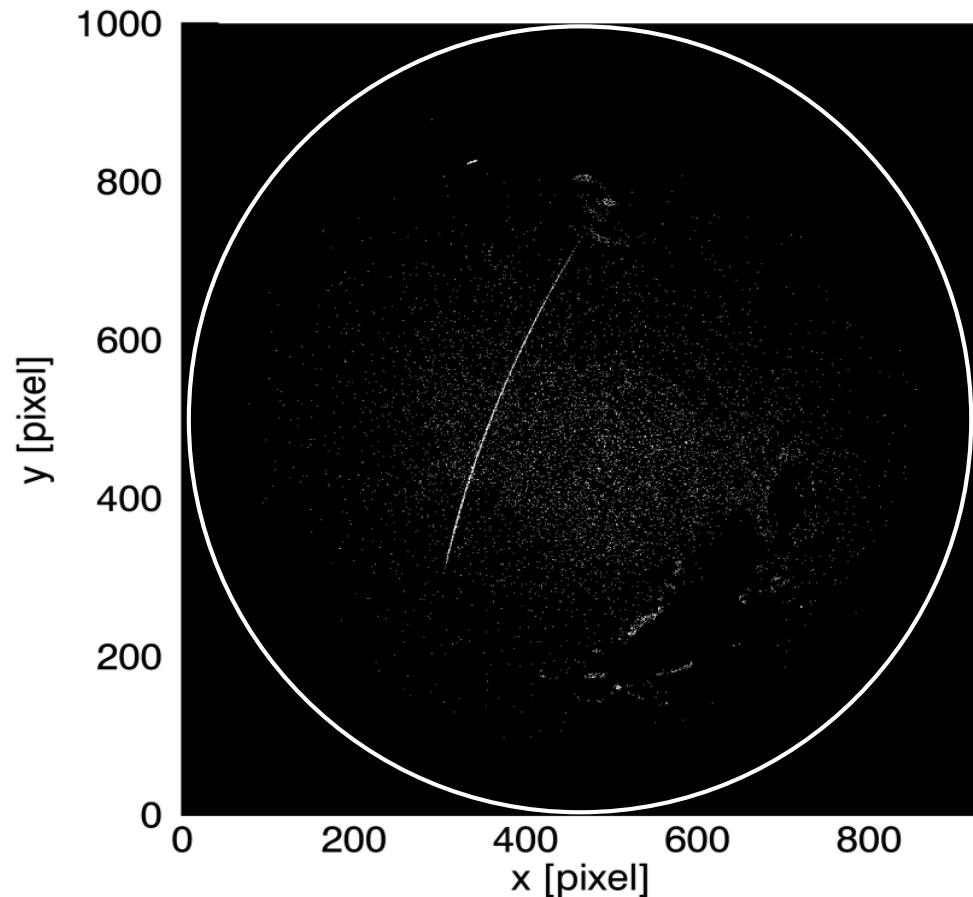


Residui astrometria 01/2017 - Pino Torinese

Esempio - Tiangong-1 (1)

PRISMA ha impiegato 4 camere (Alessandria, Genova, Loiano, Navacchio) per monitorare il rientro della stazione spaziale cinese Tiangong-1

Detection - Navacchio
13/02/2018
05:06:29 - 05:07:28 UTC



Esempio - Tiangong-1 (2)

PRISMA ha impiegato 4 camere (Alessandria, Genova, Loiano, Navacchio) per monitorare il rientro della stazione spaziale cinese Tiangong-1

Detection - Navacchio
 13/02/2018
 05:06:29 - 05:07:28 UTC

