Caratterizzazione fotometrica dell'efficienza radiale della camera all-sky della rete PRISMA

Marco De Luca, Mario Domenico Di Geronimo, Antonio Gioiosa

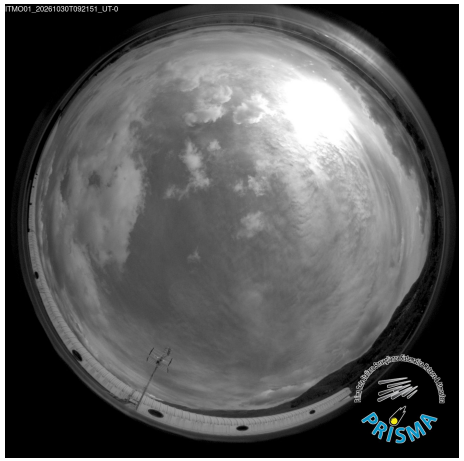
Università degli studi del Molise - Dipartimento di Bioscienze e Territorio - Pesche (IS)

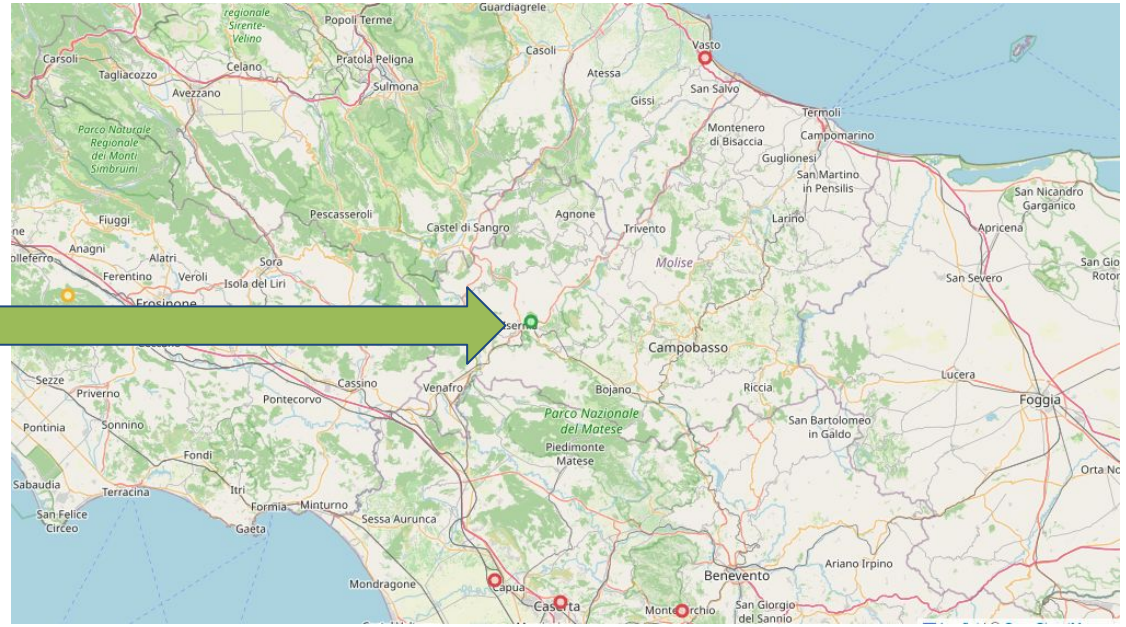
Osservazioni del 6 agosto 2026 — Capracotta (IS), 1550 m s.l.m.

Università degli Studi del Molise
Dipartimento di Bioscienze e Territorio

Nodo PRISMA ITMO01



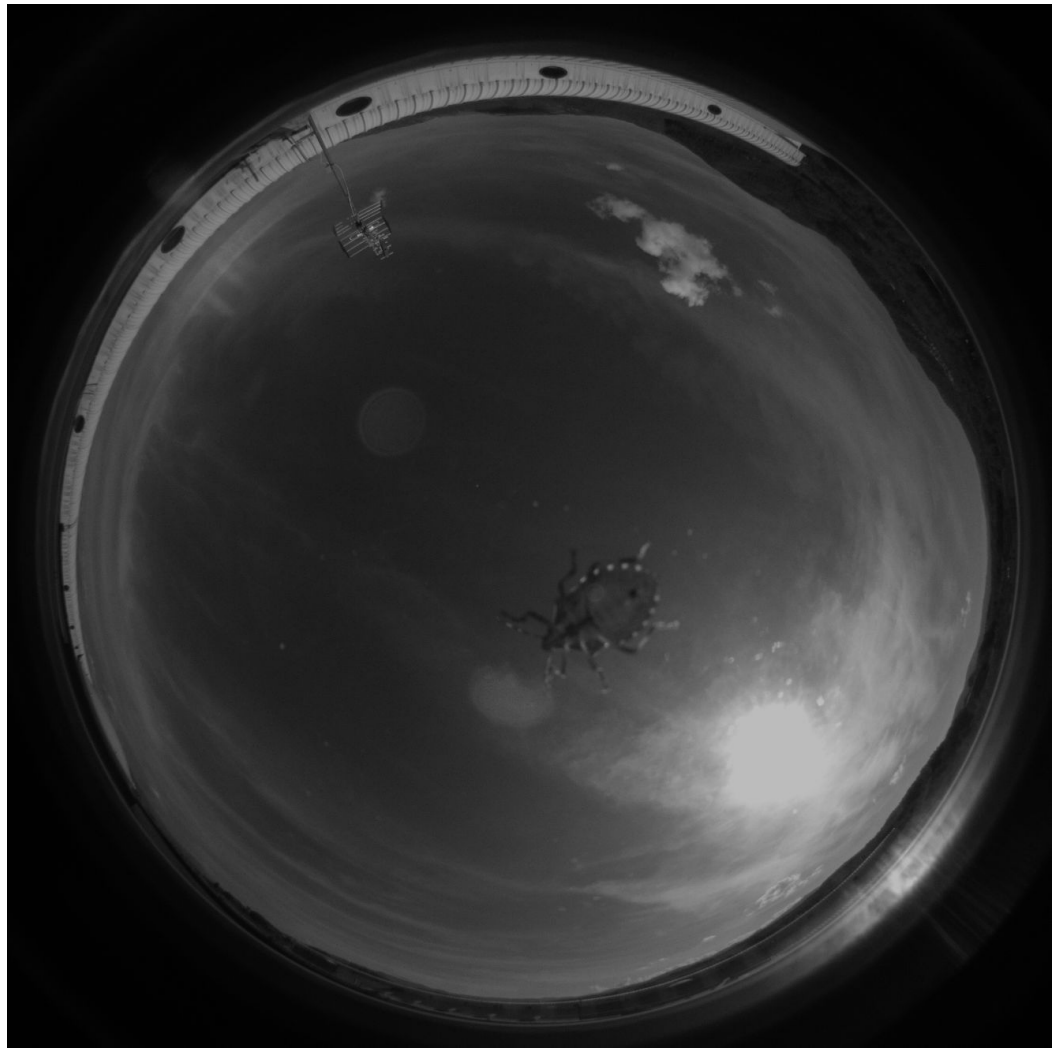




Latitudine	41.607364
Longitudine	14.265422
Altezza slm	543
Inizio acquisizioni	maggio 2026



Università degli Studi del Molise
Dipartimento di Bioscienze e Territorio





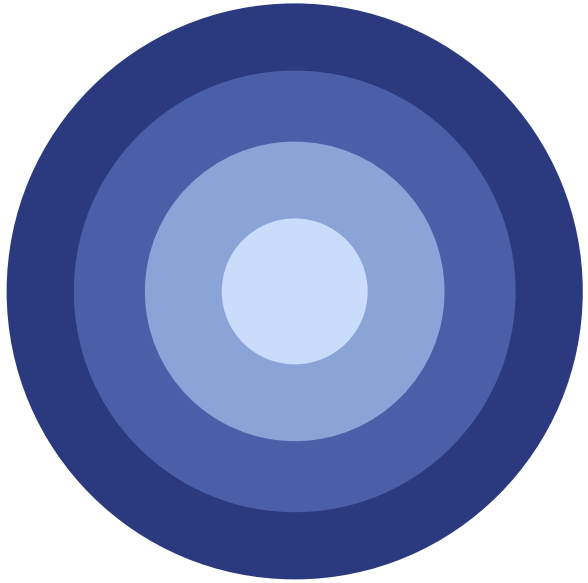
IL PROBLEMA

Che cos'è la vignettatura

Una camera all-sky non raccoglie la stessa luce in tutto il campo: una sorgente lontana dall'asse ottico produce meno segnale della stessa sorgente al centro.

- I raggi molto inclinati sono in parte intercettati da diaframma e montature
- I trattamenti antiriflesso rendono meno a grande incidenza
- Le microlenti del sensore sono ottimizzate per raggi quasi perpendicolari

Senza correzione la magnitudine di una stella dipenderebbe da dove cade nel campo, cioè dalla sua altezza sull'orizzonte.



Efficienza relativa al centro, misurata in questo lavoro

COME SI MISURA

Il principio della misura

Il cielo fa da sorgente estesa: inclinando la camera, la stessa porzione di cielo viene osservata in punti diversi del sensore

1

Scatto allo zenit

La porzione di cielo osservata cade al centro del sensore, a 0° dall'asse ottico

2

Si inclina di 5°

La camera ruota di 5° alla volta fino a 90°

3

Si ripete fino a 90°

La stessa porzione attraversa il campo, dal centro al bordo

4

Rapporto fra i segnali

A ogni angolo il rapporto con lo scatto allo zenit è l'efficienza del sistema

Un'inclinazione ogni 5°: 19 scatti per serie, cioè 19 punti della curva



In ogni scatto il cielo viene campionato ogni 5° lungo la direzione di inclinazione: circa 380 misure per serie, invece delle 19 che darebbe il solo punto allo zenit

Il Giardino della Flora Appenninica (GFA)

Molise

Capracotta (IS) 1550 slm

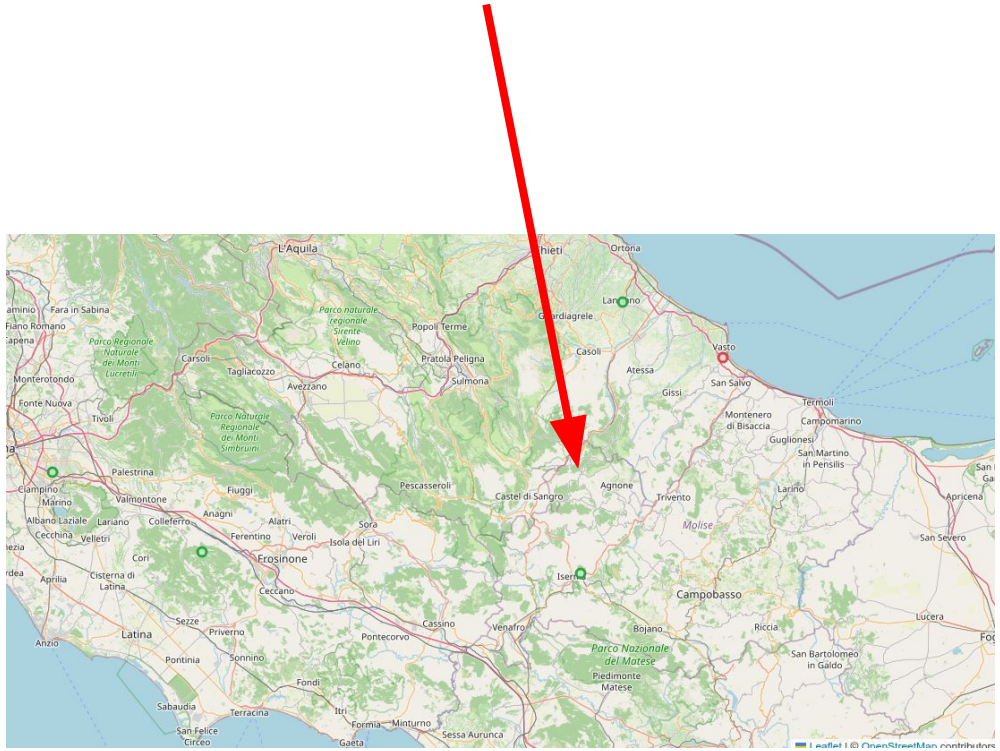




Foto: Marco Di Pilla

Il Giardino della Flora Appenninica (GFA)

Molise

Capracotta (IS) 1550 slm





Foto: Marco Di Pilla

Strumentazione e sito

Camera	Lucid Vision PHX032S-M, sensore mono 2048×1536 px
Digitalizzazione	12 bit, salvati in FITS a 16 bit
Obiettivo	fisheye circolare, cerchio immagine di raggio 612 px
Scala	7.90 arcmin/px al centro, 12.60 arcmin/px a 90°
Montatura	treppiede con testa inclinabile graduata
Posa	5 s, guadagno 0 dB, identica per tutti gli scatti

Capracotta (IS): 41.83° N, 14.26° E, 1550 m s.l.m. — 6 agosto 2026



Il treppiede con la testa graduata usato per inclinare la camera a passi di 5°

Procedura di acquisizione

- Camera puntata allo zenit e livellata: primo scatto di riferimento
- Inclinazione verso l'orizzonte a passi di 5° fino a 90°: 19 scatti per serie
- Camera ruotata di 90° sul proprio asse fra una coppia di serie e l'altra
- Quattro serie in totale, 76 scatti, più sei dark a fine sessione

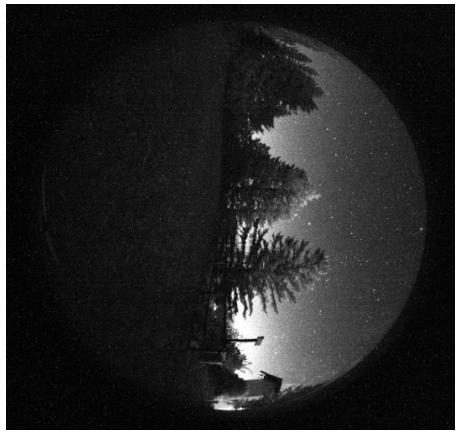
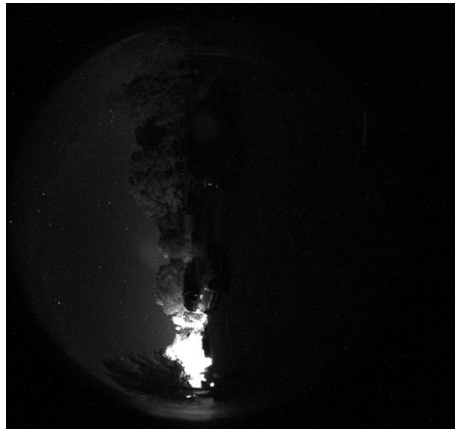
Le quattro serie coprono i quattro semiassi del sensore

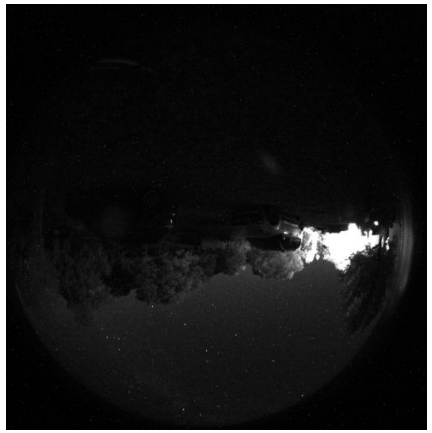
NW	NE	EW	EE
+x	−x	−y	+y
Ovest	Est	Ovest	Est



Rotazione della camera fra una serie e l'altra, per cambiare il semiasse misurato

Procedura di acquisizione



Le quattro serie coprono i quattro semiassi del sensore

NW	NE	EW	EE
+x	−x	−y	+y
Ovest	Est	Ovest	Est

Condizioni osservative

Sessione iniziata a fine crepuscolo astronomico e conclusa poco prima il sorgere della Luna

NW 20:09 → 20:37 UTC	NE 20:41 → 21:02 UTC	EW 21:11 → 21:31 UTC	EE 21:36 → 22:05 UTC
Sole −18.5° → −21.9°	Sole −22.4° → −24.8°	Sole −25.6° → −27.4°	**Luna sorge a Est**

76

scatti in 2 ore

≈20 min

durata di ogni serie

119–126

ADU, cielo allo zenit

Criticità: ogni serie è durata una ventina di minuti contro i cinque auspicabili. In mezz'ora il cielo ruota di circa 6° e la Via Lattea transitava vicino allo zenit: il cielo non è identico fra il primo e l'ultimo scatto

Dal pixel all'angolo: il modello ottico

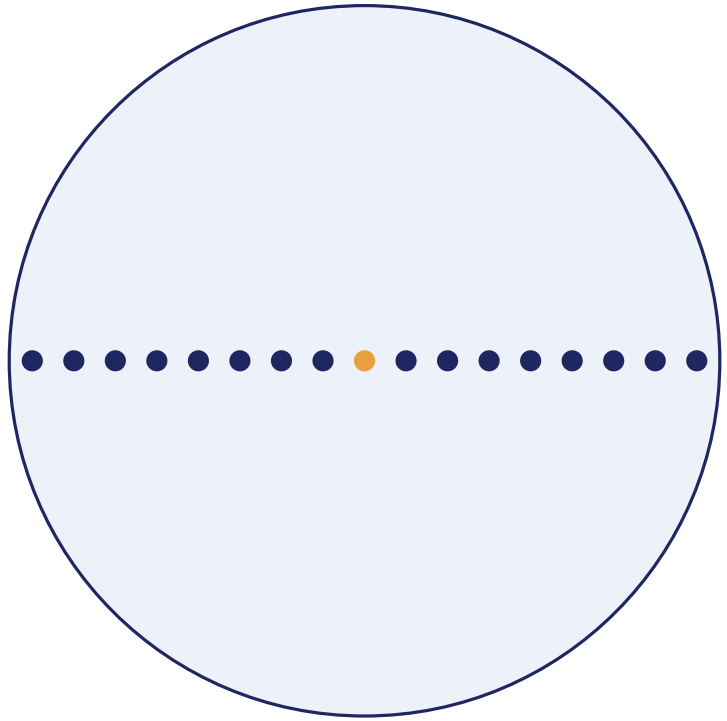
Una calibrazione astrometrica sugli scatti allo zenit fornisce la corrispondenza fra piano focale e coordinate orizzontali:

$$a = a_0 + \operatorname{atan2}(y - y_c,\ x - x_c)$$

$$z = V \cdot r + S \cdot (\exp(D \cdot r) - 1)$$

$$r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}$$

Parametro	Valore
x_c	1027 px
y_c	782 px (serie NW, NE), 786 px (serie EW, EE)
a_o	89.8° (serie NW, NE), 179.0° (serie EW, EE)
V	7.8 arcmin/px
S	15 arcmin
D	$6.5 \cdot 10^3$ px^{-1}



Punti campionati ogni 5° lungo la direzione di inclinazione; in ambra il centro del campo

Dal pixel all'angolo: il modello ottico

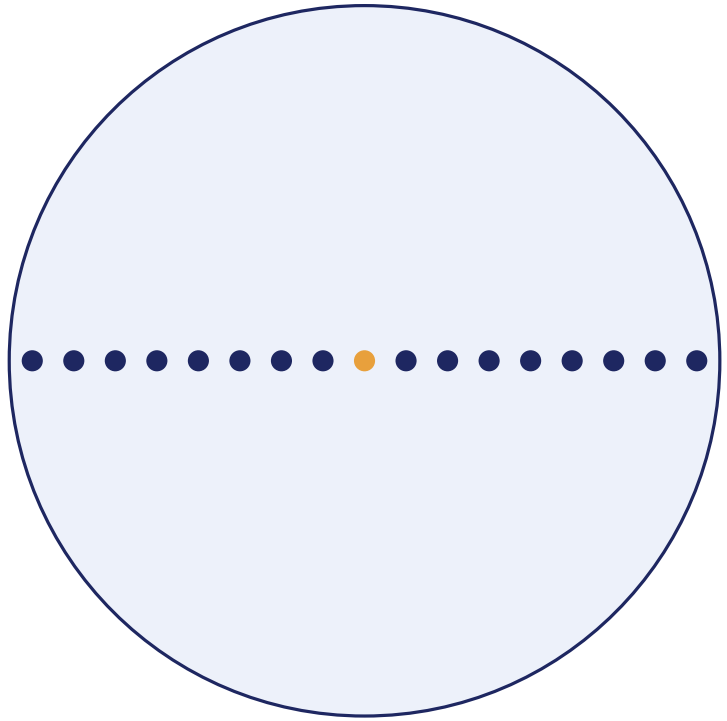
Una calibrazione astrometrica sugli scatti allo zenit fornisce la corrispondenza fra piano focale e coordinate orizzontali:

$$a = a_0 + \operatorname{atan2}(y - y_c,\ x - x_c)$$

$$z = V \cdot r + S \cdot (\exp(D \cdot r) - 1)$$

$$r = \operatorname{sqrt}((x - x_c)^2 + (y - y_c)^2)$$

- Le immagini vanno prima riflesse verticalmente, per portarle in un sistema (x, y) coerente con l'orientazione dei punti cardinali
- L'analisi usa le formule al contrario: si decide dove campionare il cielo e si calcola dove cade sul sensore
- L'azimut si inverte subito; il raggio no, perché l'equazione è trascendente: si tabula e si interpola
- Errore dell'inversione: meno di un decimillesimo di pixel
- Verifica su cinque stelle luminose: scarto di 0.7–1.4 px, aseconda della serie, cioè meno di 2 arcmin



Punti campionati ogni 5° lungo la direzione di inclinazione; in ambra il centro del campo

ANALISI

Il fit congiunto cielo × flat

Nello scatto i il centro guarda il cielo a distanza zenitale **i·5°**: il punto a θ sul sensore vede quindi il cielo a **s = θ − i·5°**

$$I(i, k) = B(s) \cdot F(\theta_k)$$

$$\log I = \log B(s) + \log F(\theta)$$

Lo stesso punto di cielo compare in scatti diversi in posizioni diverse del sensore: profilo del cielo **B** e flat del sistema **F** si ricavano insieme, usando i minimi quadrati, senza assumere che il cielo sia uniforme

≈380
misure per serie

F(0) = 1
vincolo di normalizzazione

3σ
reiezione degli outlier
(*fit ripetuto fino a convergenza*)

1.4–1.5%
residui del fit

Sono stati esclusi i punti con |s| > 60°, dove il campo è occupato da alberi, orizzonte e luci a terra. Ogni misura è la media sigma-clipped a 3σ in un cerchio di 20 px di raggio, con esclusione dei pixel oltre r = 595px, cioè fuori dal cerchio immagine

Una deriva lineare del cielo nel tempo è indistinguibile da una pendenza di F. Si cancella combinando (media geometrica) le due serie che coprono lo stesso semiasse con versi opposti

ANALISI

Dal flat alla vignettatura

il flat F(θ) del sistema si ricava dal rapporto del segnale I(θ) misurato rispetto al profilo del cielo B(s), cioè la vignettatura moltiplicata per l'angolo solido del pixel

$$F(\theta) = I(\theta)/B(s)$$

$$F(r) = V(r)\cdot\Omega_{pix}(r)$$

$\Omega_{pix}(r)$ si ricava dal modello ottico

$$\Omega_{pix}(r) \propto \sin(z)\cdot(dz/dr)/r$$

Dividendo il flat per Ω_{pix} si ottiene la vignettatura, che è la grandezza da usare per la fotometria stellare

$$V(r) = F(r)/\Omega_{pix}(r)$$

θ	30°	60°	80°	90°
Ω_{pix}	1.01	1.04	1.11	1.16

ANALISI

I controlli indipendenti

Il risultato è stato verificato con misure che non dipendono dal metodo principale

1

Fotometria di Vega

Vega, a 3–11° dallo zenit in tutte le serie, non satura mai. Il fondo cielo viene sottratto localmente, quindi la misura non risente della sua luminosità né della deriva

3.6%

dispersione dei punti entro 15° dall'asse

2

Verifica astrometrica

Posizioni previste e misurate di cinque stelle luminose negli scatti allo zenit, confermano il modello ottico e i suoi parametri

0.7–1.4 px

scarto quadratico medio

3

Residui del fit

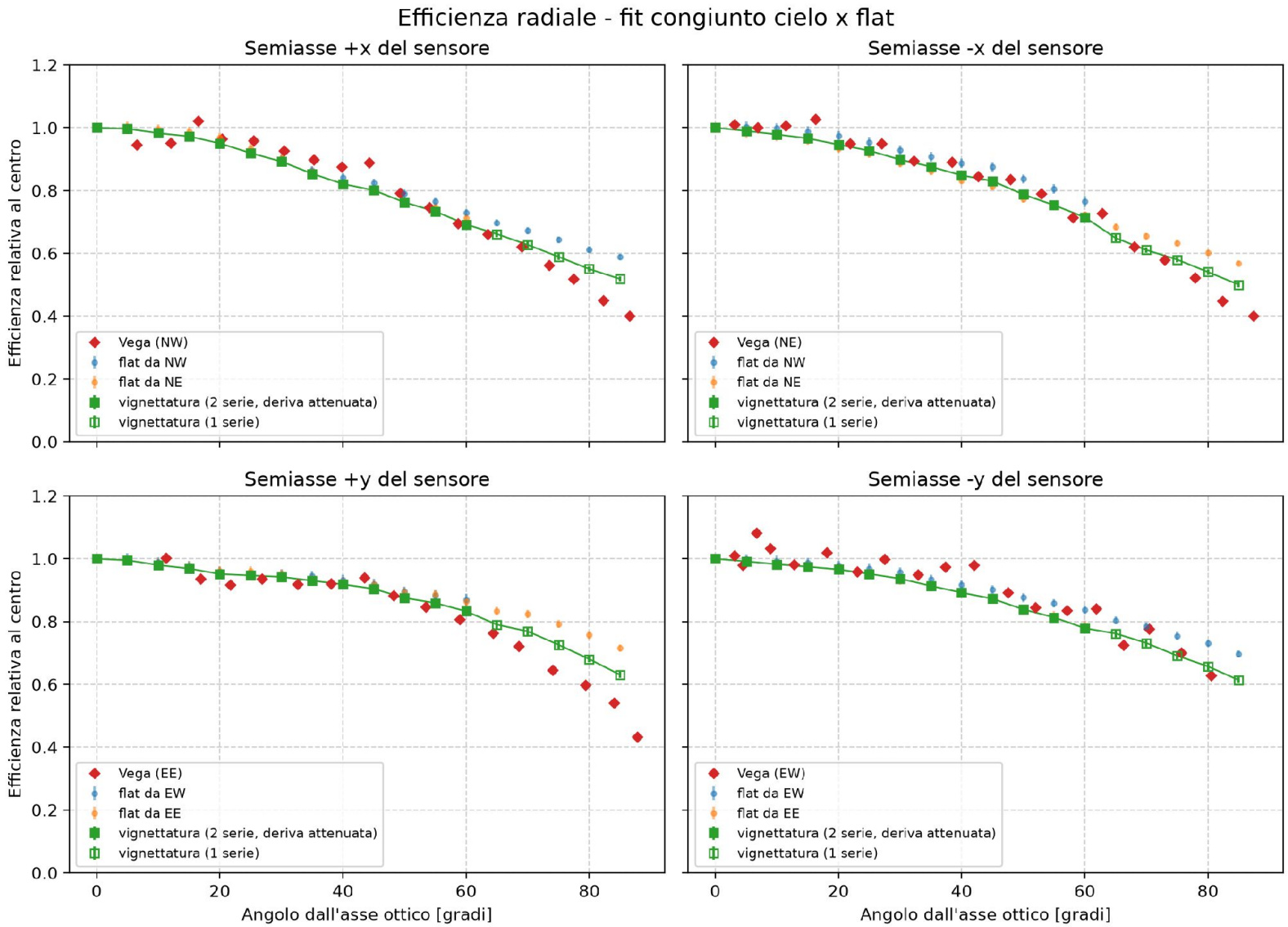
Dispersione delle circa 380 misure per serie attorno al modello, con 3–15 punti scartati automaticamente a 3σ

1.4–1.5%

residui rms

La curva ricavata dal cielo e la fotometria di Vega concordano entro il 2.8 – 4.6% fino a 70°, cioè entro la dispersione dei punti di Vega

Risultati: i quattro semiassi

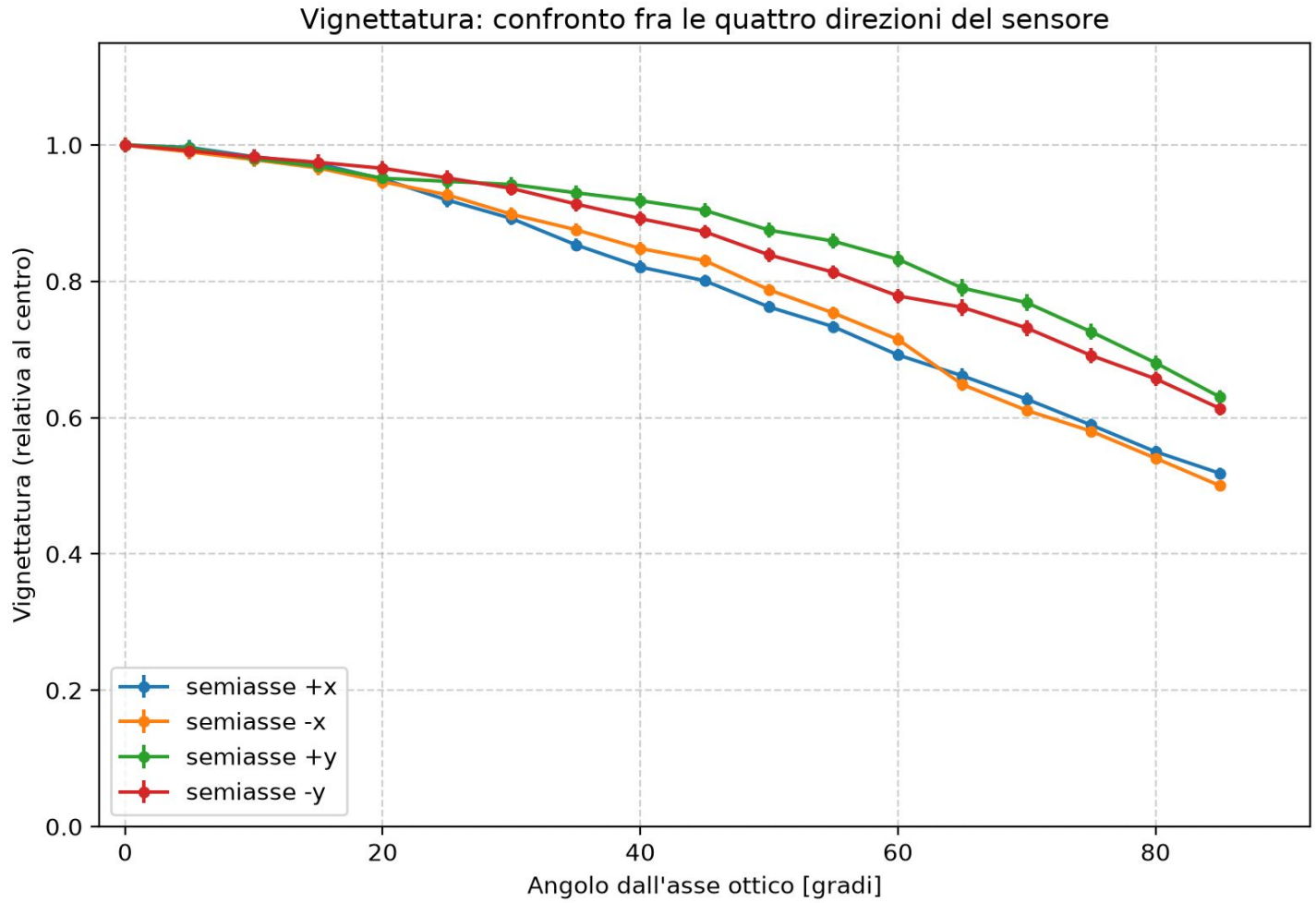


Come leggere il grafico

- flat dalle due serie, prese separatamente
- vignettatura combinata (deriva attenuata)
- fotometria di Vega, indipendente dal cielo

I simboli vuoti oltre 60° indicano la zona coperta da una sola serie.

Un'asimmetria fra i due assi del sensore



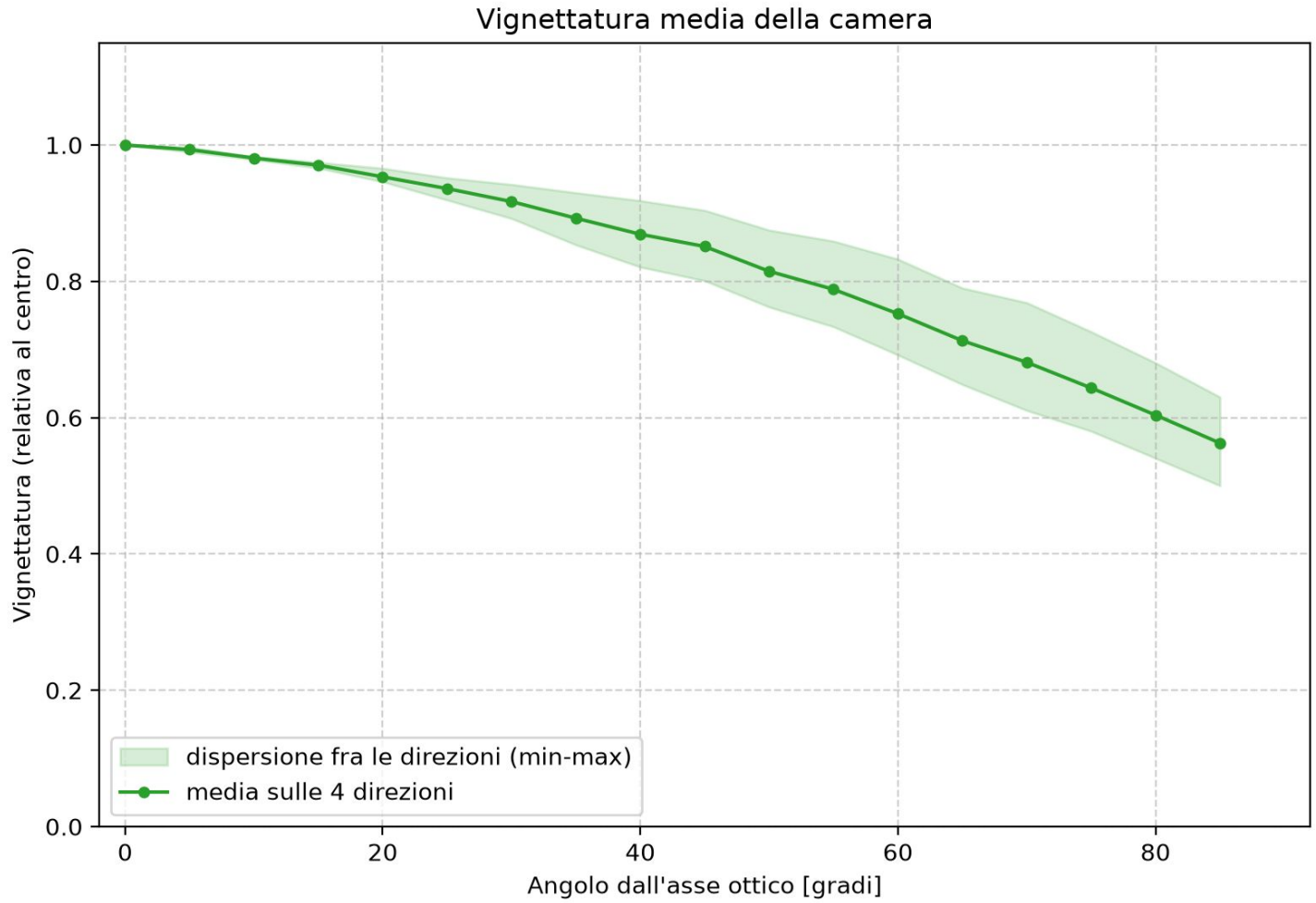
- L'asse x cade più rapidamente dell'asse y
- I due versi dello stesso asse sono compatibili entro il 2%
- L'asimmetria la vede anche la fotometria di Vega

A 80° dall'asse

0.55 asse x

0.67 asse y

La curva di efficienza della camera



Media sulle quattro direzioni

20°	0.95
40°	0.87
60°	0.75
80°	0.60

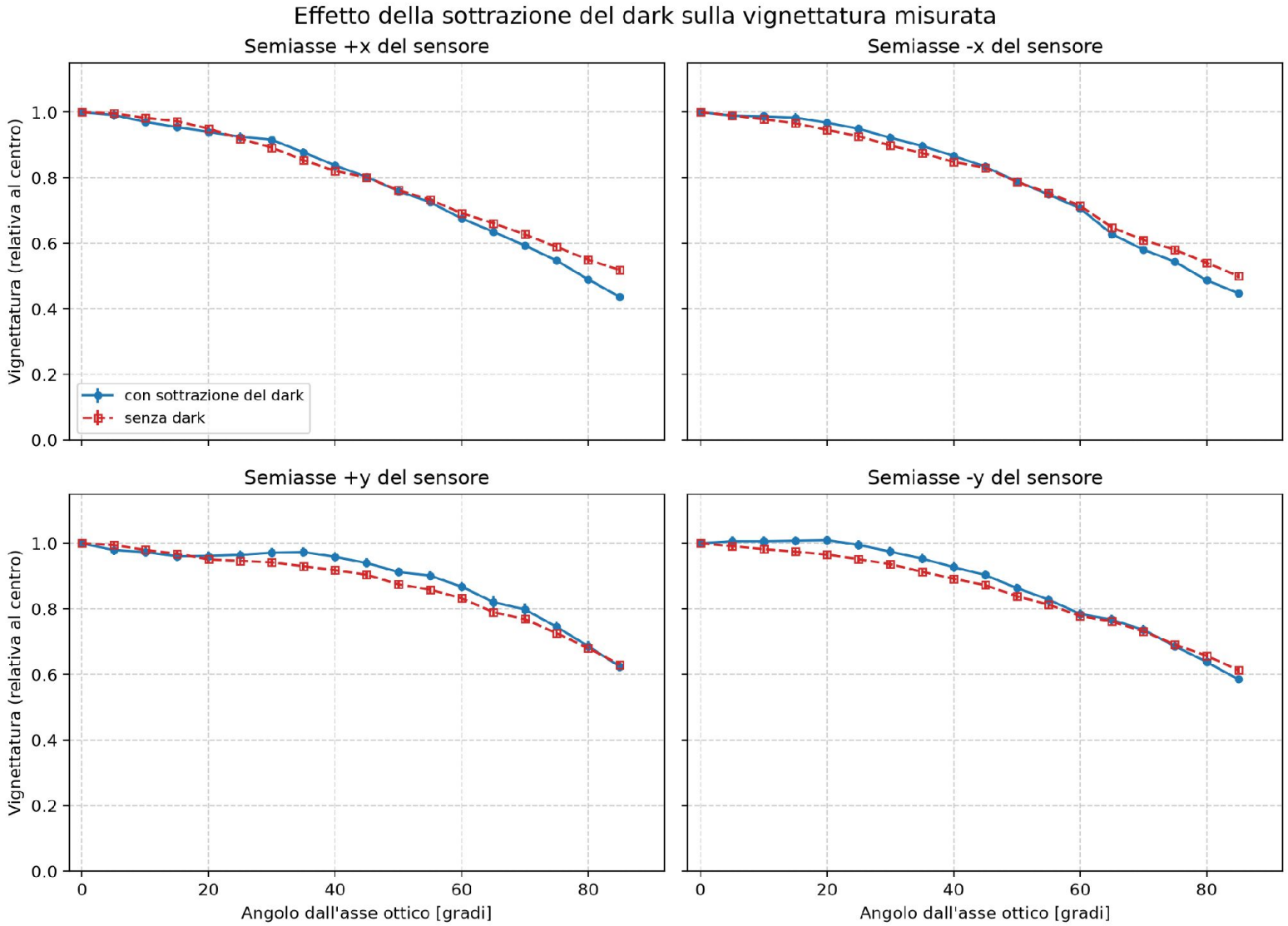
La banda indica la dispersione fra le direzioni: la media vale solo assumendo simmetria azimutale.

Le incertezze sistematiche

1	**Luna sulla serie EE**	Oltre 50° sul semiasse +y il cielo sovrastima l'efficienza dell'11% rispetto a Vega
2	**Deriva residua**	La combinazione cancella la parte lineare (non le componenti di ordine superiore), ma oltre 60° c'è una sola serie per semiasse
3	**Sottrazione del dark**	Sui conteggi grezzi i rapporti si comprimono verso 1: fino al 12% a 80° sugli assi x
4	**Angoli nominali**	Le inclinazioni reali differiscono fino a 2–3°: circa 1–2% sul tratto ripido
5	**Segnale basso**	Cielo a 5–6 DN su 12 bit al centro e 2–3 DN al bordo: quantizzazione grossolana

Incertezza statistica sui singoli punti: 0.01–0.02. Le sistematiche sono dominanti

Quanto conta sottrarre il dark



Stesso codice, unica differenza la sottrazione del master dark (24 ADU mediani)

2%

scarto medio entro 60°

5.4%

scarto medio oltre 60°

12%

caso peggiore, 80° sull'asse x

La forma della curva non cambia; oltre 60° la sottrazione serve

IN SINTESI

Conclusioni e prossimi passi

La vignettatura della camera è stata misurata dall'asse fino a 85°, con due metodi indipendenti in accordo entro pochi percento

0.95	0.87	0.75	0.60
a 20° dall'asse	a 40°	a 60°	a 80°

Per ripetere la misura

- Completare ogni serie in cinque minuti o meno, per rendere trascurabile la deriva del cielo
- Aggiungere uno scatto allo zenit anche alla fine di ogni serie, per misurare la deriva
- Osservare con Sole sotto −20° e Luna sotto l'orizzonte per tutta la durata
- Aumentare guadagno o posa, per portare il cielo ad almeno 50–100 DN

Grazie per l'attenzione