

Università di Bologna – DIFA

Silvia Galletti

Schede utilizzate per le lezioni di

Laboratorio di Astrofisica

Corso per la Laurea Magistrale in Astrofisica e Cosmologia

Note:

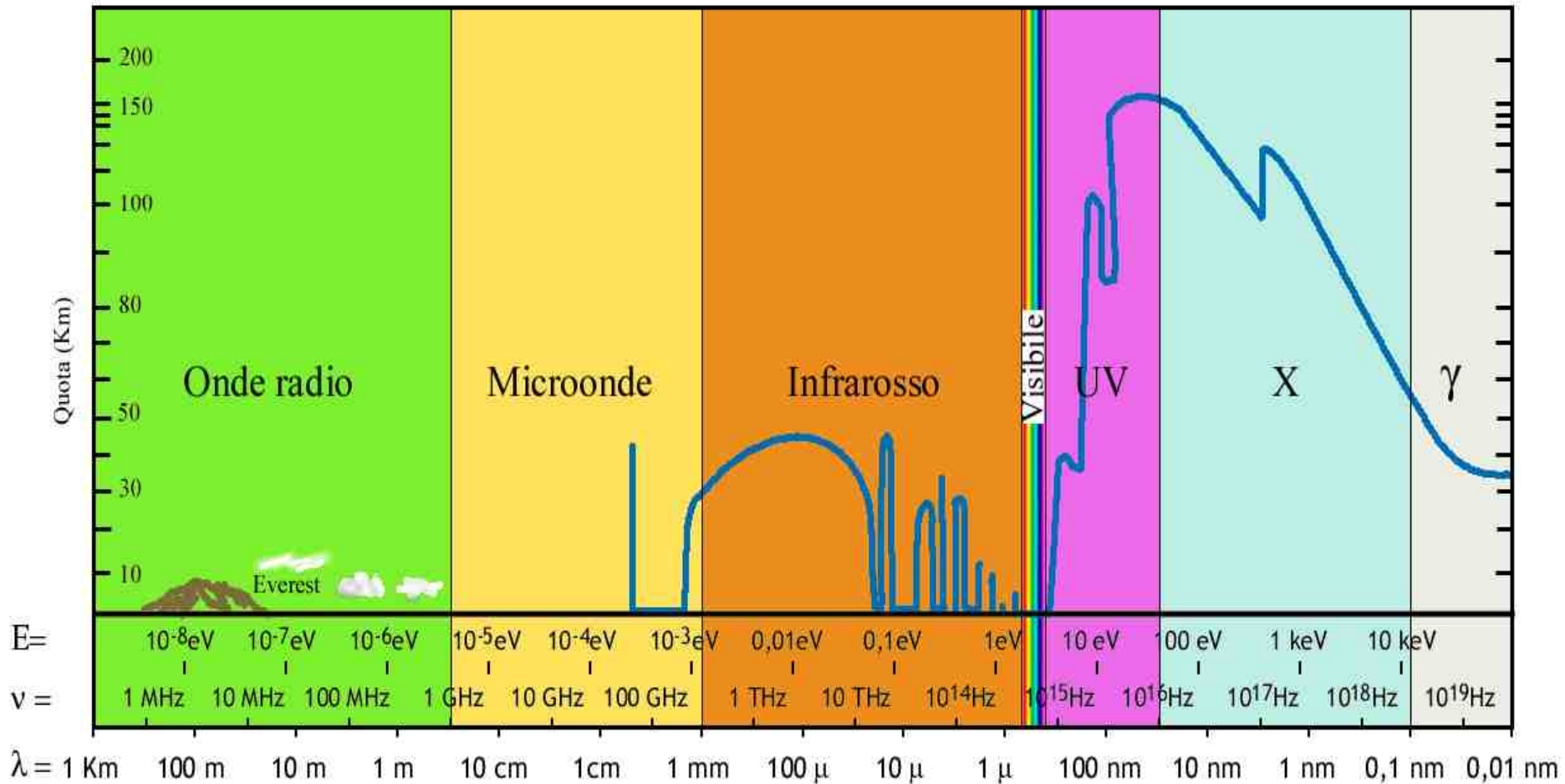
- Le immagini e le tabelle non sono “dispense”.
- Molte di esse sono ottenute da altre fonti, non sempre espressamente citate: il loro uso è strettamente limitato alla didattica del corso, con esclusione di qualsiasi altro utilizzo

Silvia Galleti

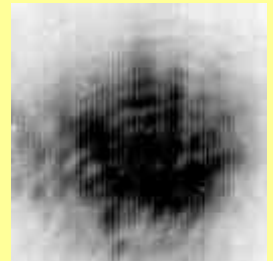
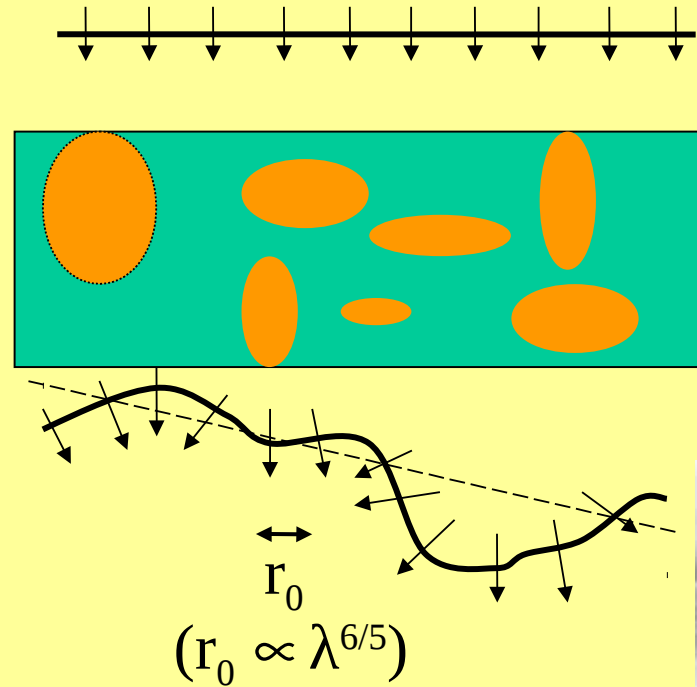
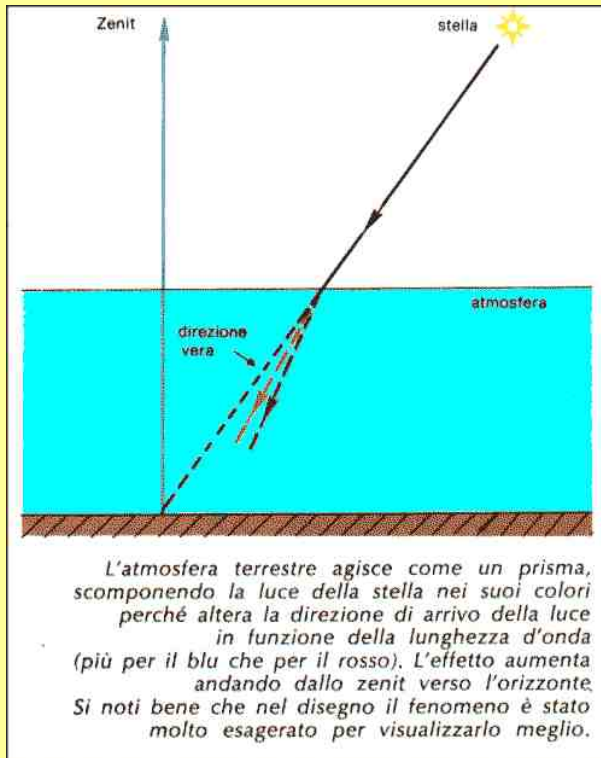
Corso per la Laurea Magistrale in Astrofisica e Cosmologia

1. Introduzione alla fotometria
2. Sistemi fotometrici
3. Calibrazioni fotometriche
4. Fotometria di apertura

Trasmissione della radiazione em attraverso l'atmosfera

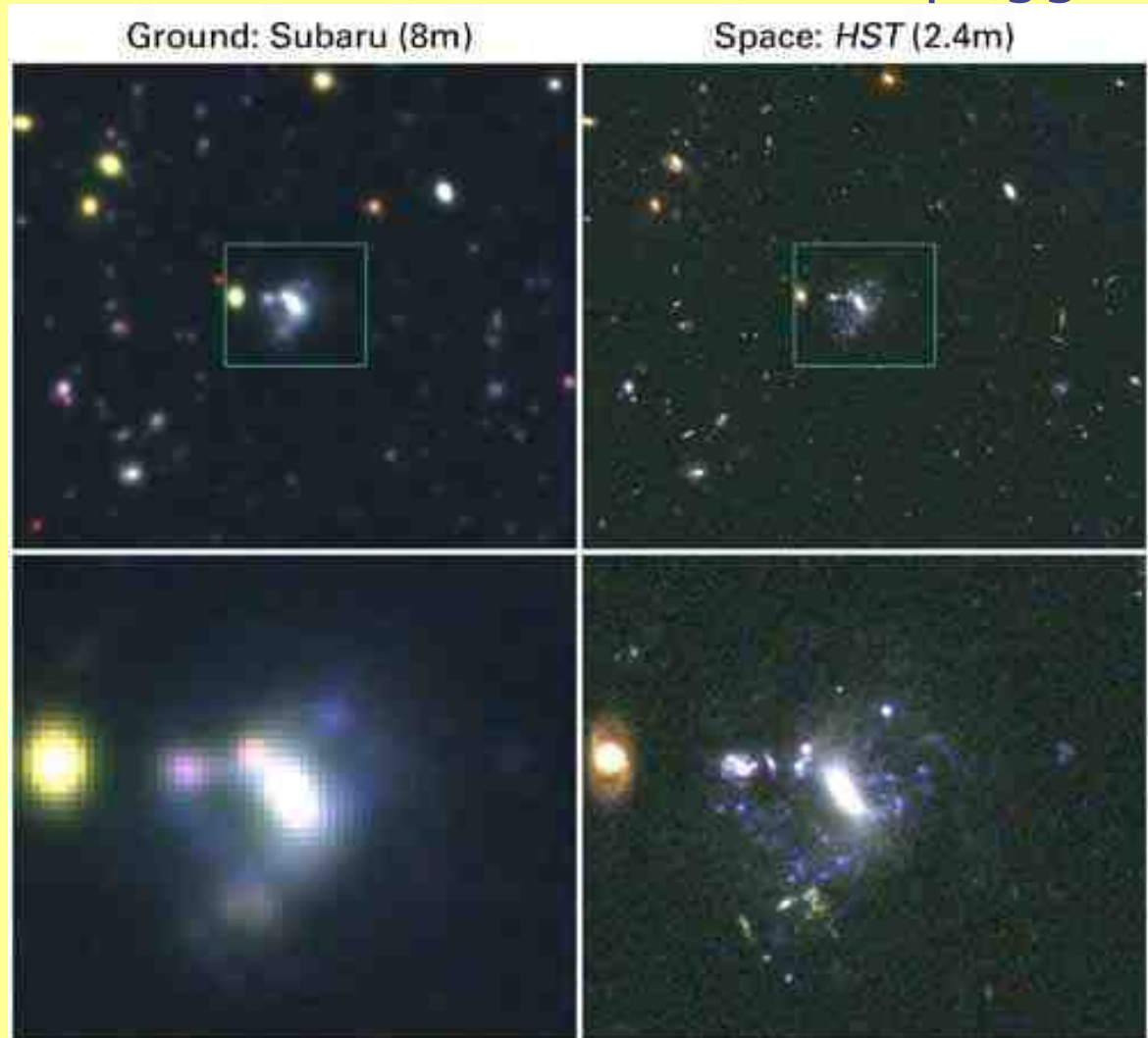


I limiti posti dall'atmosfera terrestre:



A sinistra la rifrazione 'statica'. A destra, la propagazione in un mezzo (aria) con bolle di diverso indice di rifrazione trasforma l'onda piana in una fortemente distorta. Il parametro r_0 si dice di 'Fried', e nel visibile per un buon sito vale 10 cm. La forma della stella è confusa e varia rapidamente.

Si stima misurando il diametro delle stelle nelle immagini:
maggiore è il diametro (in secondi d'arco) e peggiore sarà il seeing

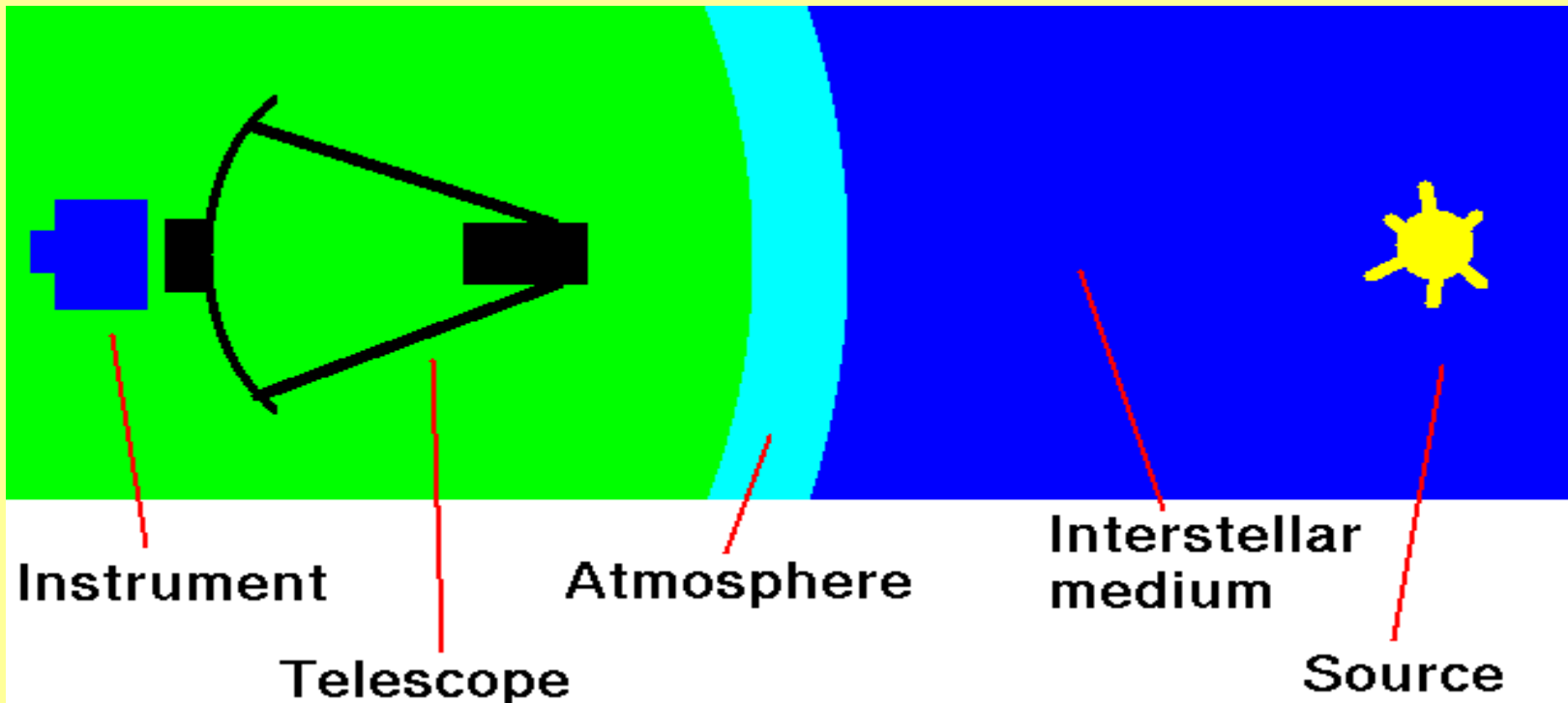


fotometria

La fotometria è la tecnica che permette di misurare il flusso e la magnitudine emessi da sorgenti puntiformi o estese.

Necessita di un sistema composto da:

Rivelatore + filtri fotometrici + telescopio



fotometria

Tempo e luogo: mezzo interstellare, atmosfera terrestre, ottiche telescopio, filtri, rivelatore.

$$\text{Segnale} = F(\lambda)(1-e) R(\lambda) A(\lambda) T(\lambda) Q(\lambda)$$

$F(\lambda)$ flusso della stella

e frazione che viene oscurata dagli specchi

$R(\lambda)$ riflettività degli specchi

$A(\lambda)$ assorbimento atmosferico

$T(\lambda)$ trasmissione del filtro

$Q(\lambda)$ detector quantum efficiency

Filtri

Non esistono strumenti in grado di misurare l'intero spettro di energia

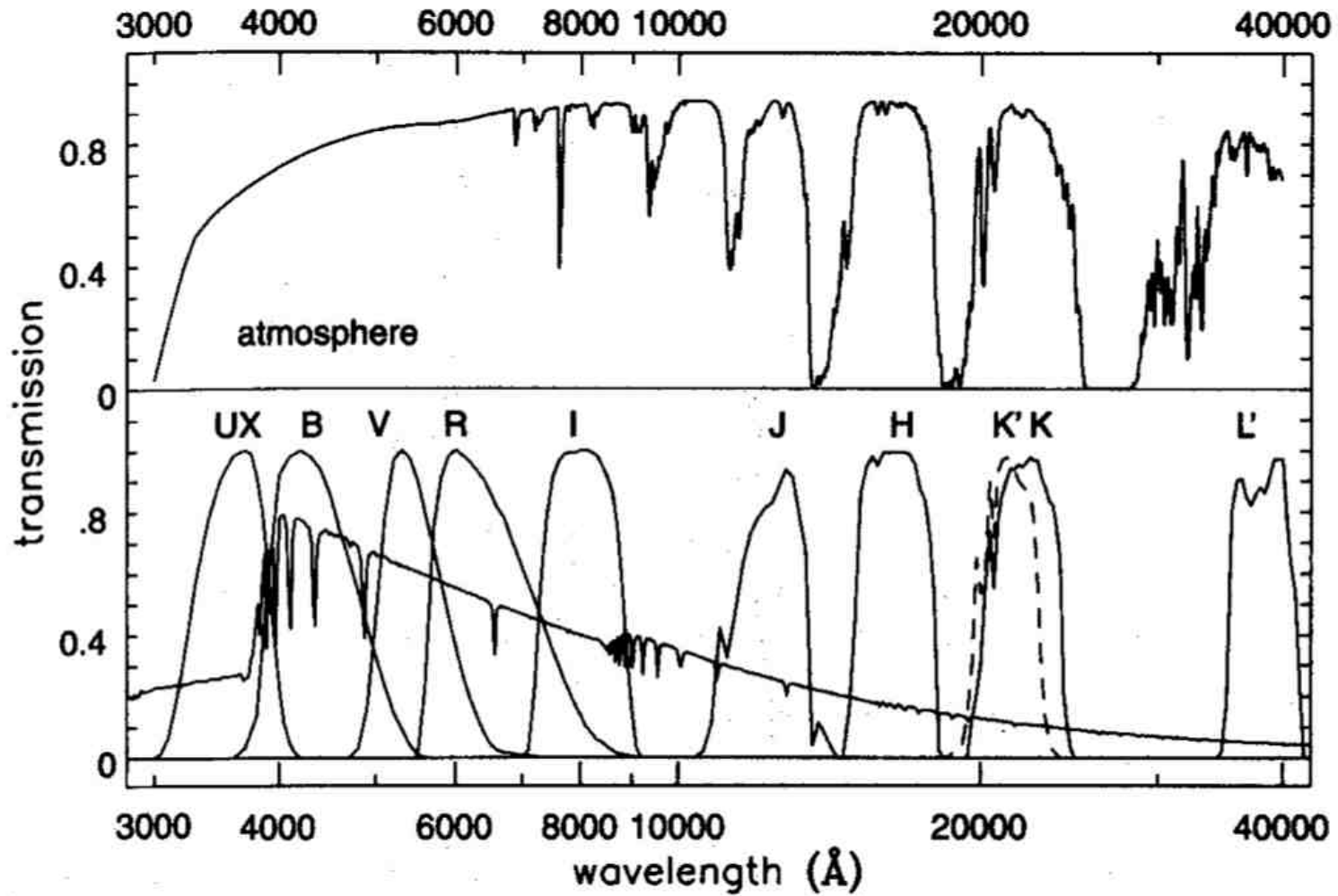
Si misura il flusso proveniente da un oggetto attraverso *Filtri*

Questi sono caratterizzati da una certa lunghezza d'onda centrale (λ_{max}) e coprono un ben definito intervallo di lunghezze d'onda ($\lambda_2 - \lambda_1$).

Filtri larghezza $\Delta\lambda/\lambda$

Stretti	<0.02	$\Delta\lambda \sim 0-100 \text{ \AA}$
Intermedi	$0.02-0.1$	$\Delta\lambda \sim 200-300 \text{ \AA}$
Larghi	>0.1	$\Delta\lambda \sim 1000 \text{ \AA}$

Sistema fotometrico



Sistema fotometrico

- **“Johnson“: U, B, V, R, I (J, H, K)**

Johnson H.L. & Morgan W.W. (1953, ApJ 117, 486)

- □ **“Cousins“: R_c, I_c**

Kron-Cousins (Cousins 1974, MNASSA 33, 149)

- □ **“Bessell“: $U, B, V, R_c, I_c, J, H, K, L, M, N$**

Bessel (1979, PASP 91, 589; 1990, PASP 102, 1181);

Bessell & Brett (1988, PASP 100, 1134); Bessel et al. (1998, A&A 333, 231)

- □ **“Washington“: $C, M, T1, T2$**

Canterna (1976); Geisler (1996); Bessel (2001)

- □ **“Vilnius“: U, P, X, Y, Z, V, S**

Straizys et al. (1966); Straizys & Zdanavicius (1970)

- □ **“Gunn“: u, g, r (i, z)**

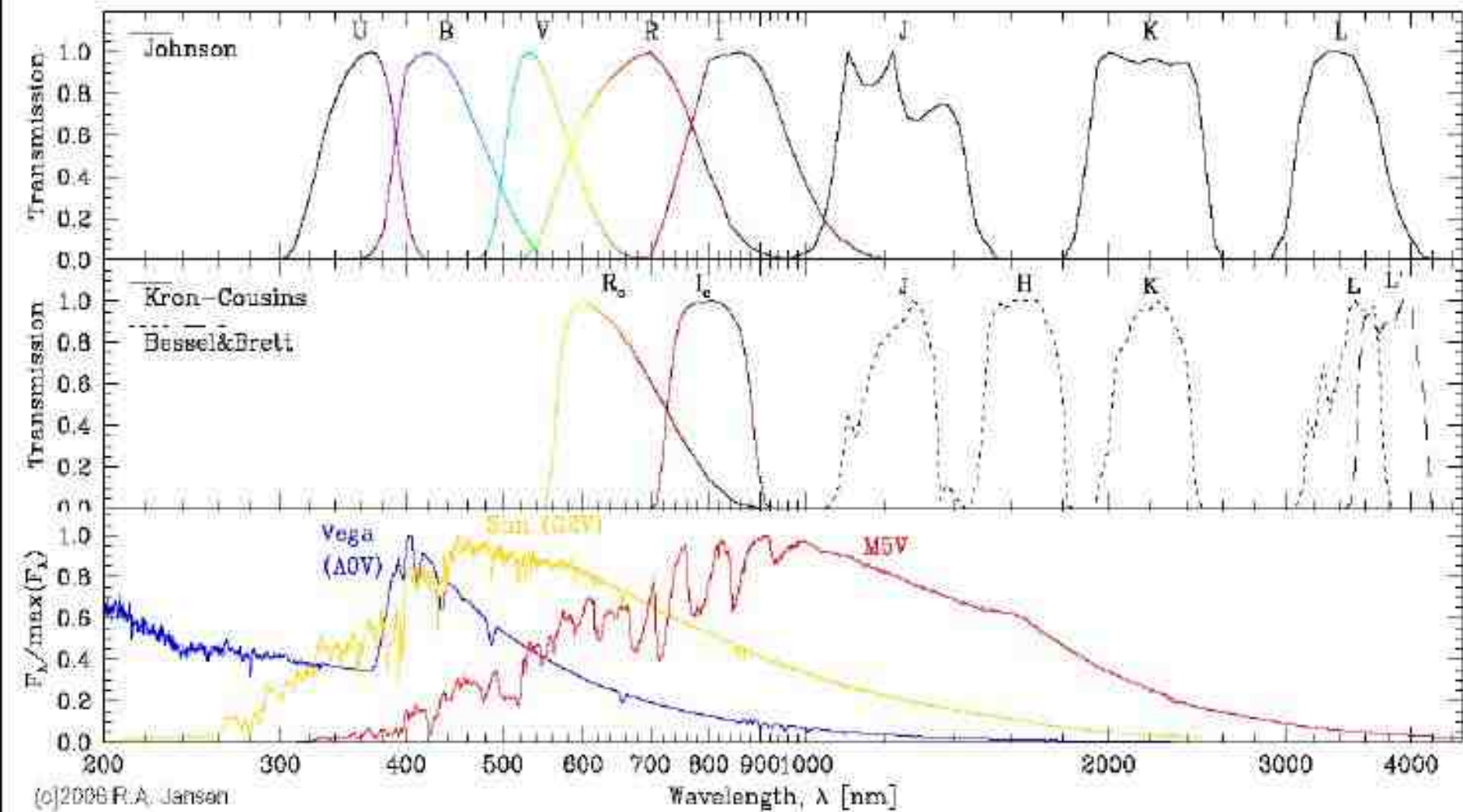
Thuan & Gunn (1976, PASP 88, 543); Wade et al. (1979, PASP, 91, 35);

Schneider et al. (1983, ApJ, 264, 337); Schild (1984, ApJ, 286, 450)

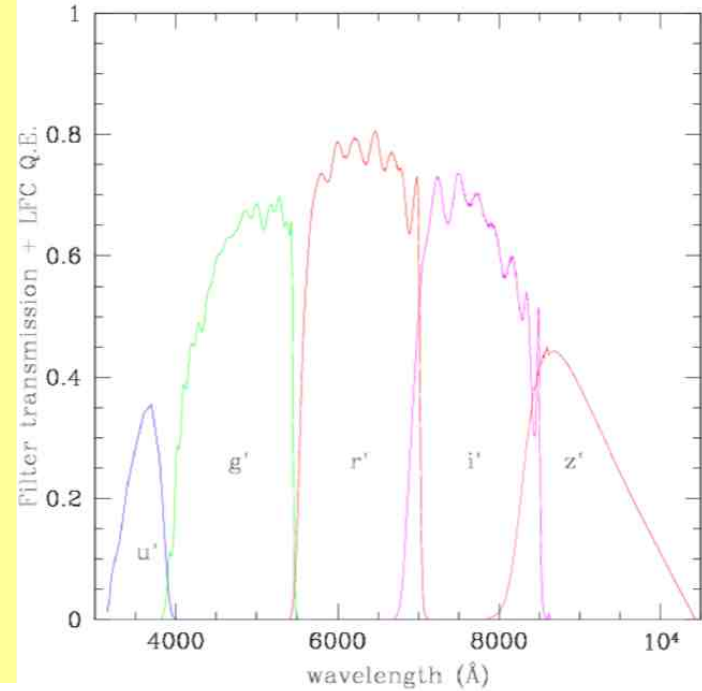
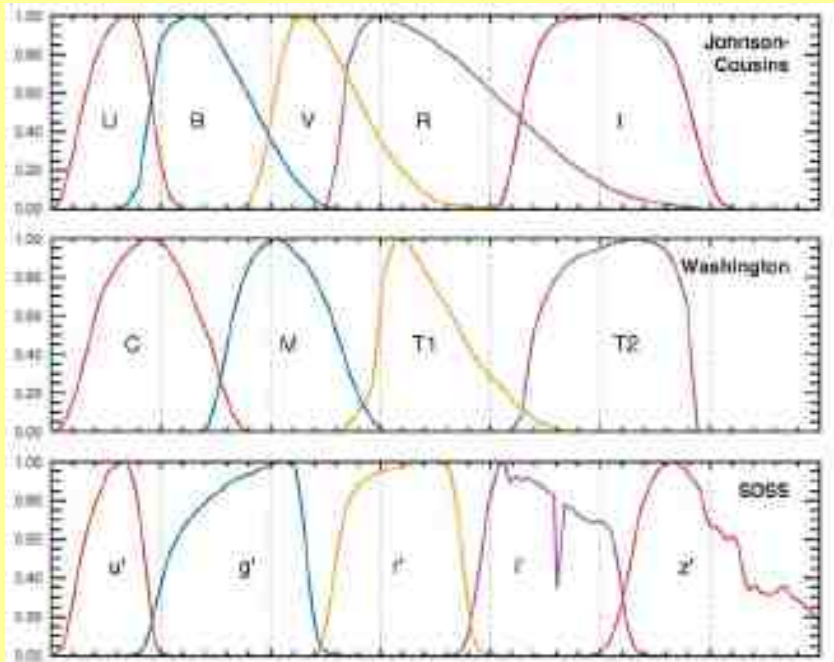
- □ **“sdss“: Sloan Digital Sky Survey (“SDSS”): $u0, g0, r0, i0, z0$**

- □ **“HST“: Hubble Space Telescope: <http://archive.stsci.edu/hst/filterlist.html>**

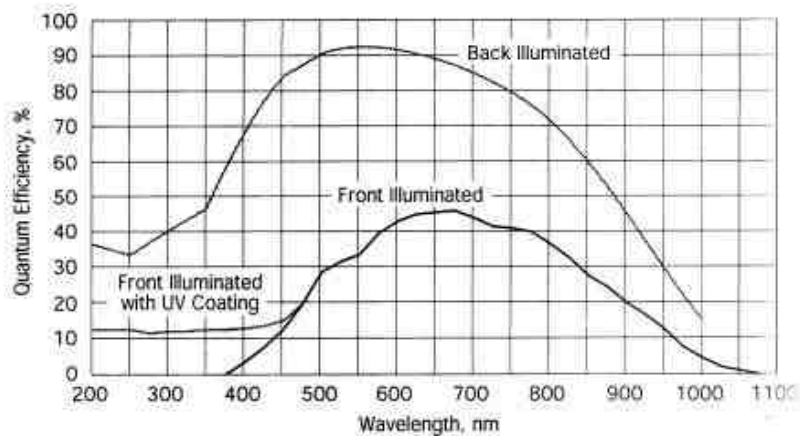
Sistema fotometrico



Sistema fotometrico



- Exceptionally high quantum efficiency with the 1300EB back illuminated CCD
- Lowest read noise
- MPP for low dark charge
- Large field of view

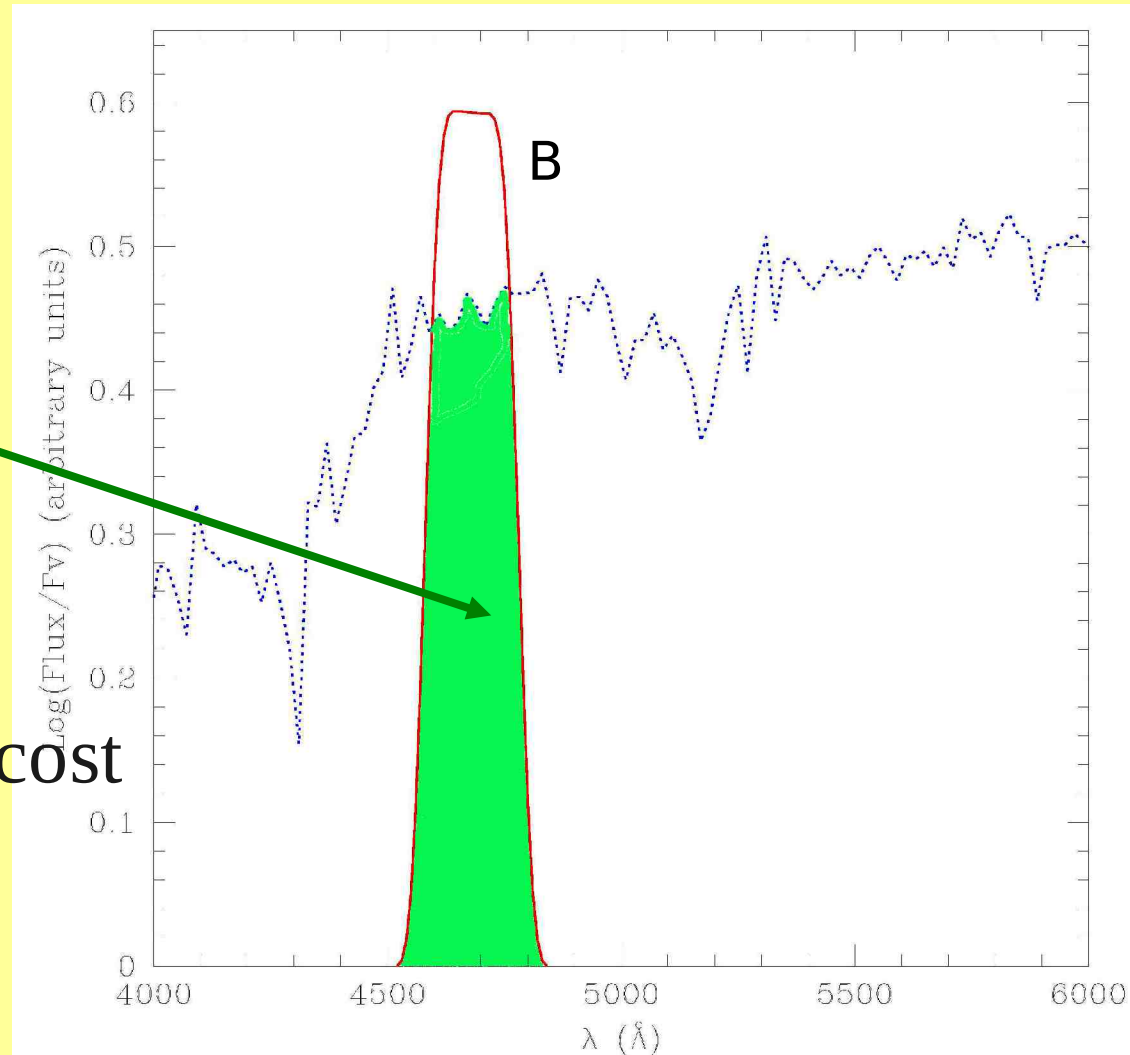


La magnitudine in una banda fotometrica è:

l'area dello spettro
sotto la banda
considerata:

Flusso nella banda B

$$M_B = -2.5 \text{Log}(F_B) + \text{cost}$$



Sistema fotometrico

$$m = -2.5 \log F / F_0$$

$$m = -2.5 \log F + 2.5 \log F_0$$

$$m = -2.5 \log F + z_p$$

F_0 :

- **Sistema STMAG**

$F_\lambda = \text{costante}$

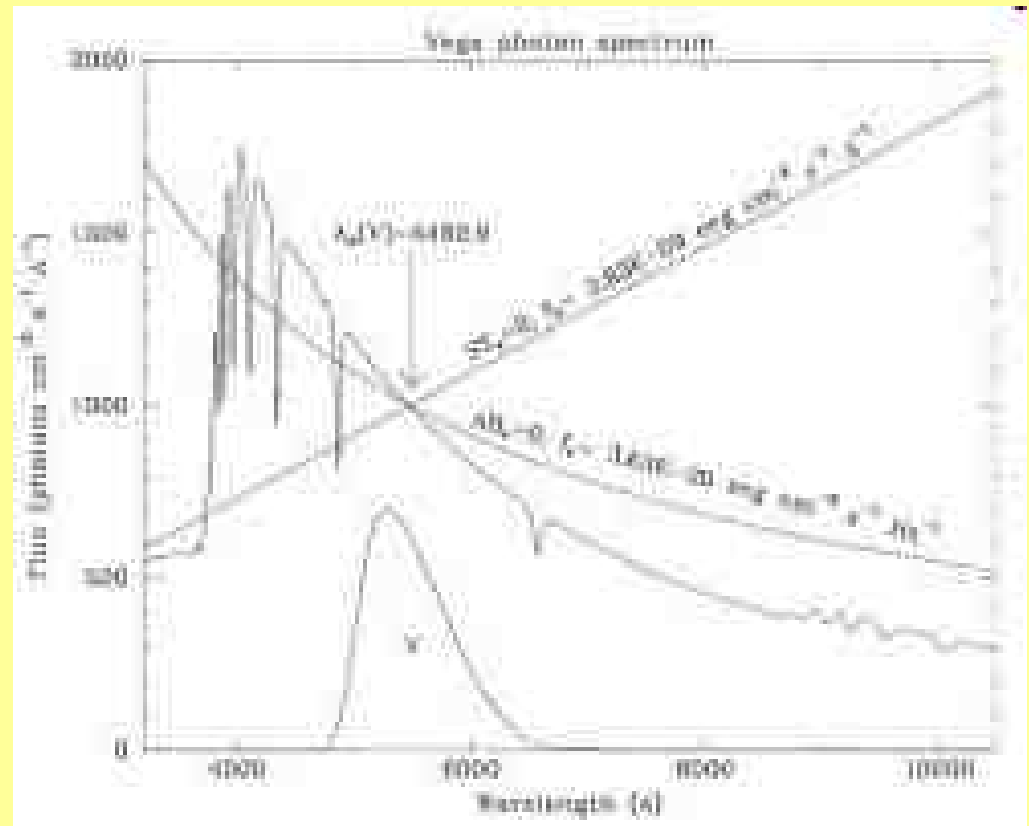
- **Sistema ABMAG**

$F_\nu = \text{costante}$

- **Sistema VEGAMAG**

Flusso della stella

Vega (A0V)



Calibrazione fotometrica

$$m = ZP + CT + m_s - k(\lambda) X$$

ZP: è il punto zero del sistema fotometrico; è la costante che aggiunta alla magnitudine strumentale la trasforma in una magnitudine calibrata.

CT: è il termine di colore

m_s : è la magnitudine ottenuta IRAF

k : è la costante di estinzione atmosferica, dipende dalla lunghezza d'onda.

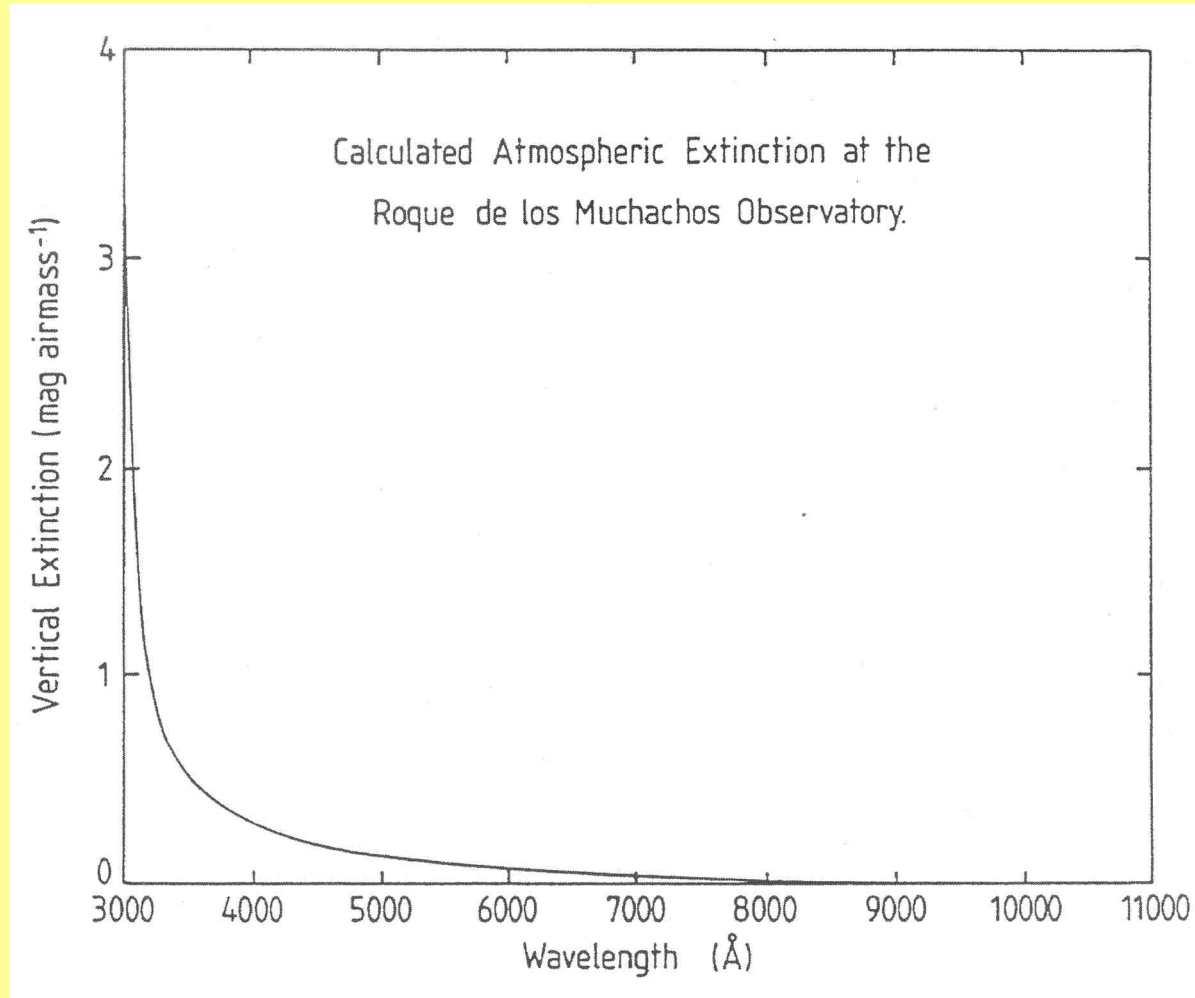
x : è il valore della massa d'aria, ossia $1/\cos z$, dove z è la distanza dell'oggetto dallo zenith.

Estinzione

Assorbimento del flusso proveniente dalla stella rispetto a quello che avrebbe fuori dall'atmosfera.

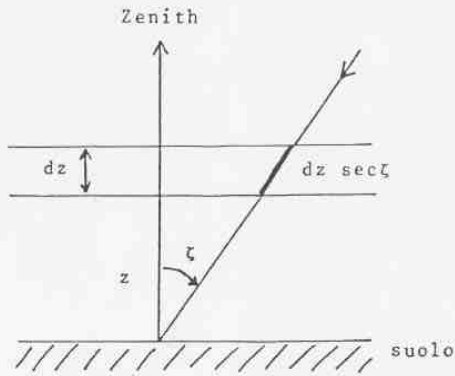
Estinzione dipende dalle condizioni atmosferiche e dal luogo di osservazione

Ha un valore più elevato per lunghezze d'onda minori e più basso per lunghezze d'onda maggiori.

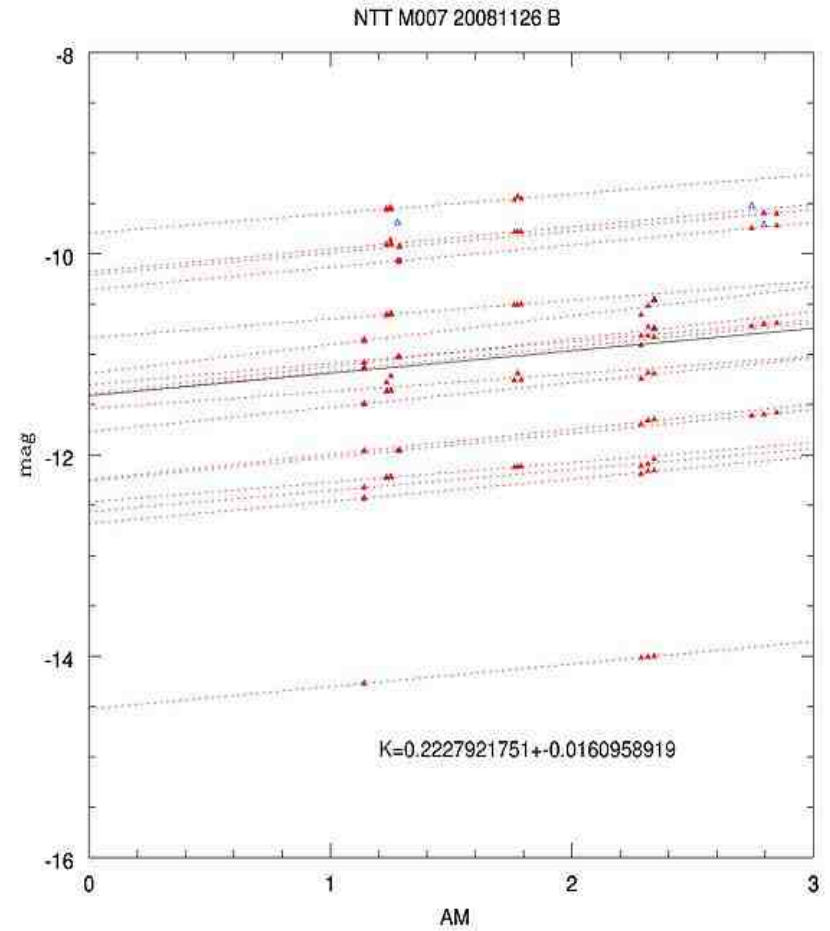
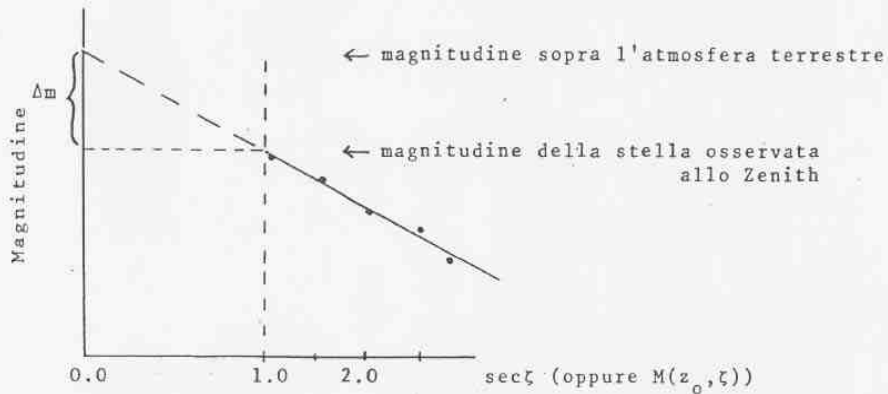


Estinzione

$$m \text{ (fuori atmosfera)} = m(\text{osservato}) - k X$$



Approssimazione dell'atmosfera con una successione di strati piano-paralleli.



K Pendenza della retta di Bouguer

Estinzione

- k ha una dipendenza colore:

$$k_{\lambda} = k'_{\lambda} + k''_{\lambda}(\text{IC})$$

- k' : Dipende principalmente dall'atmosfera
- k'' : dipende dalla configurazione strumentale (filtri (NON E' MONOCROMATICO), rivelatore, telescopio)
- **IC**: di solito $B-V$.

k'_{λ} : coefficiente di estinzione del primo ordine

k''_{λ} : secondario coefficiente del secondo ordine

IC: indici di colore

Coefficienti di estinzione possono essere determinati osservando campi di stelle standard (con diversi indici di colore)

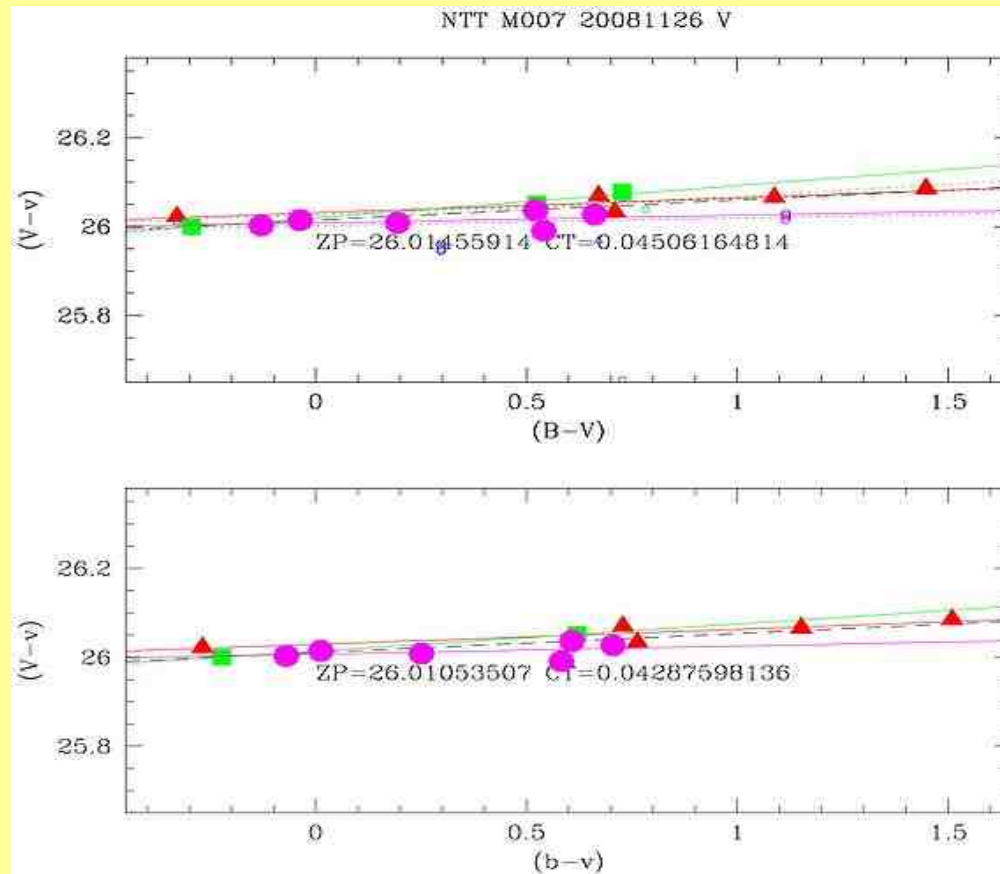
Calcolo anche ZP

Minore tempo di osservazione

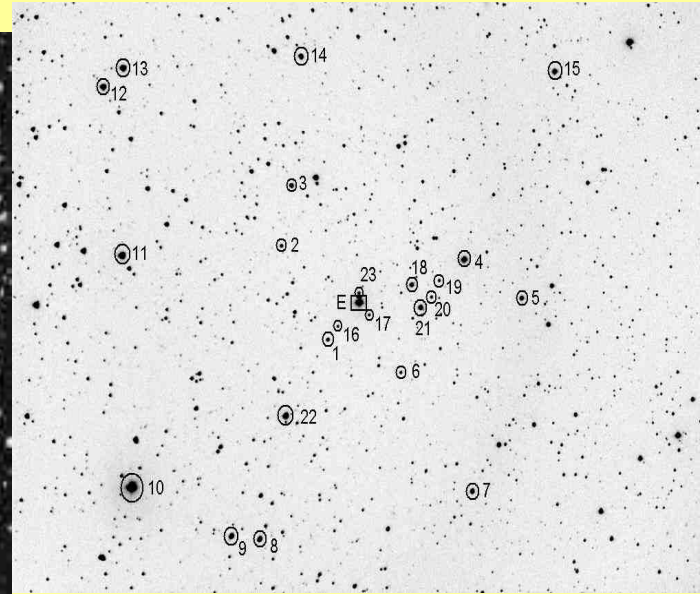
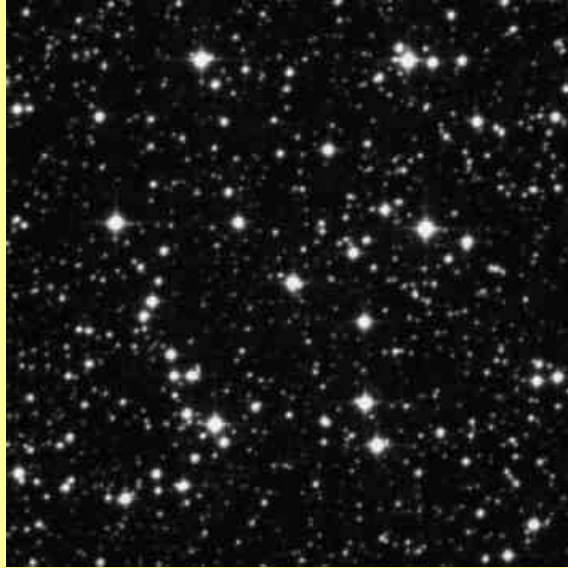
Equazioni di trasformazione

L'osservazione di sorgenti standard, permette di definire lo *Zero-Point*, (ZP) e *Color term* (CT)

$$\text{MAGs} = \text{mag} + \text{ZP} + \text{CT}(\text{mag1} - \text{mag2})$$

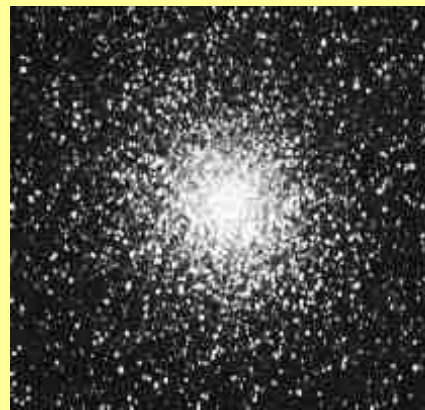
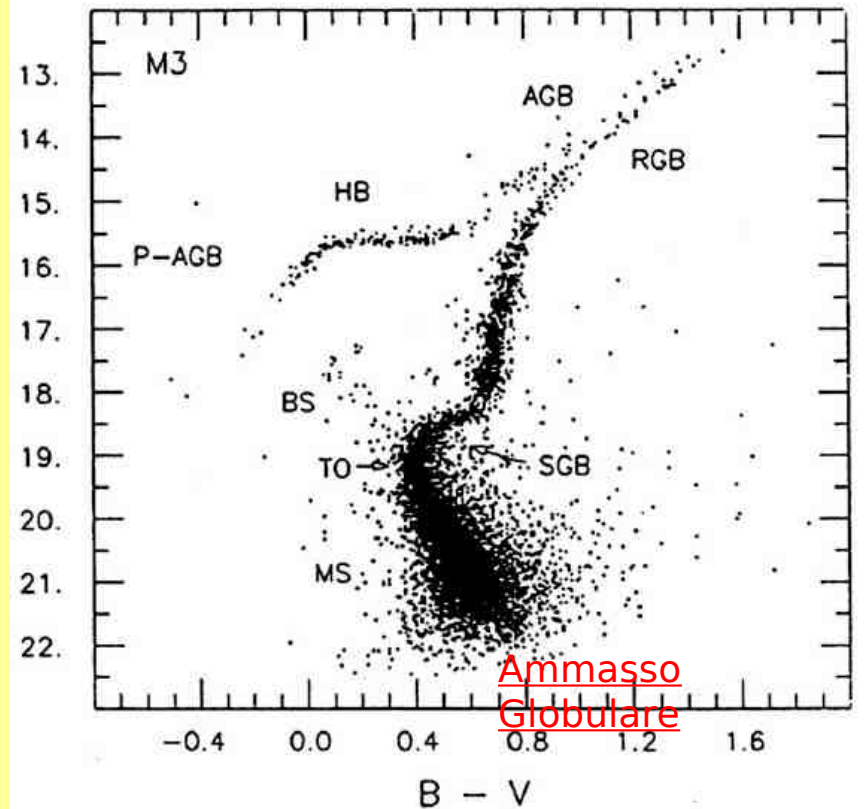
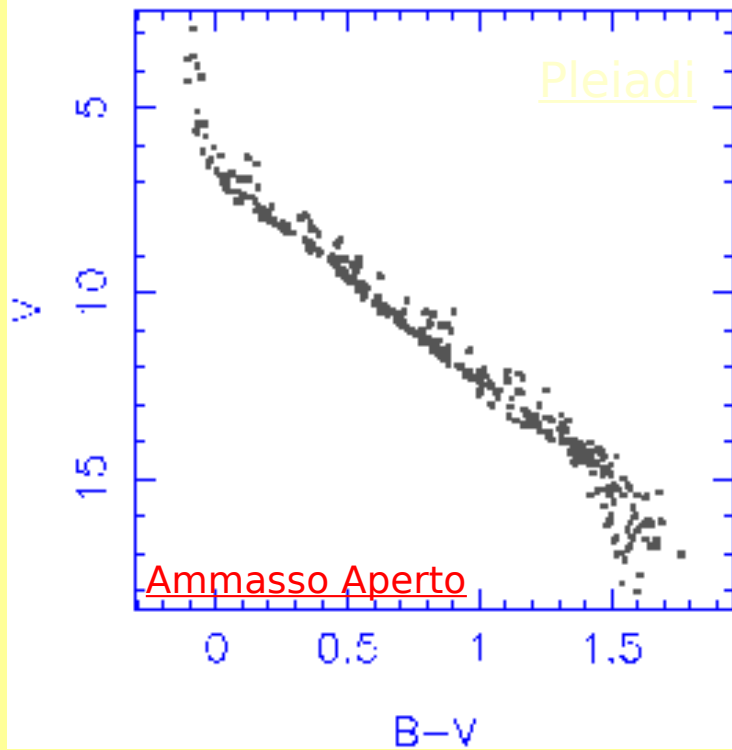


Fotometria



Ammasso aperto Ammasso globulare Stelle singole

Diagrammi Colore-Magnitudine



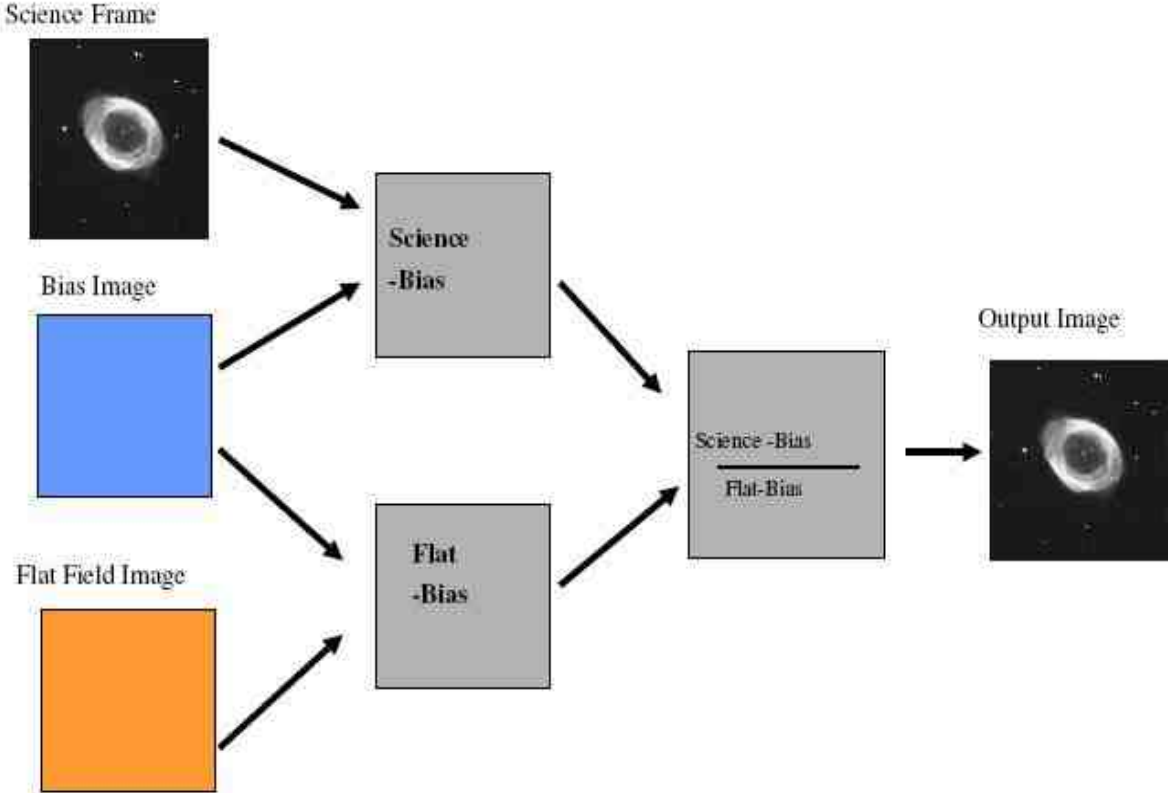
Fotometria

- Immagini di calibrazione: bias, Flat-field
- Immagini oggetti
- Standard fotometriche ... ripetute

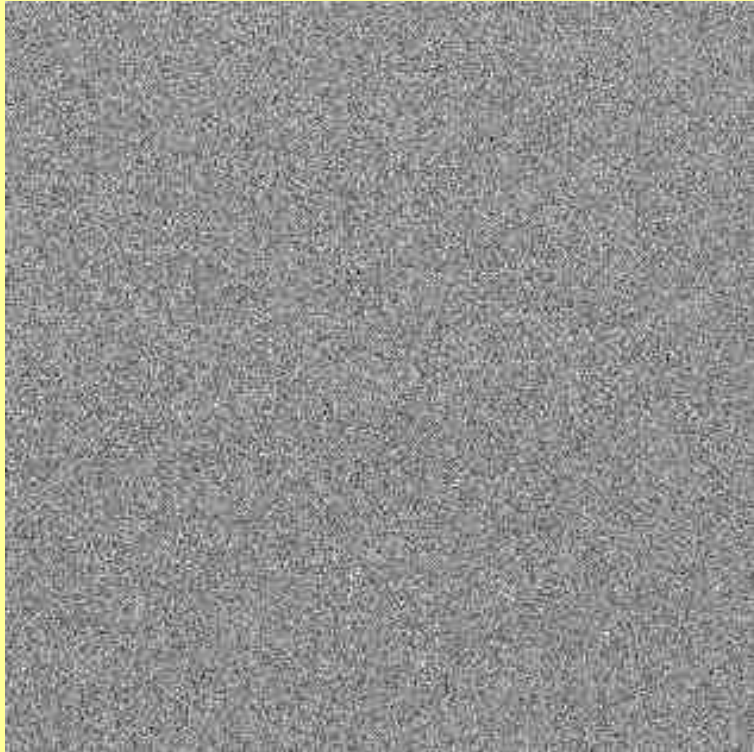
Procedure di riduzione

- pre-riduzione: bias- flat field
- “pulizia”
- fotometria
- Calibrazione
- Analisi

CCD reductions: images



Pre-riduzione



Bias:
livello elettronico del CCD

Si ottiene con un'esposizione
con otturatore chiuso

Tipicamente 10 bias da mediare

Master Bias si sottrae ad ogni
Immagine

(*) Ima=immagine

$$\text{ImaB} = \text{Ima}^{(*)} - \text{bias}$$

Pre-riduzione

Flat-field:

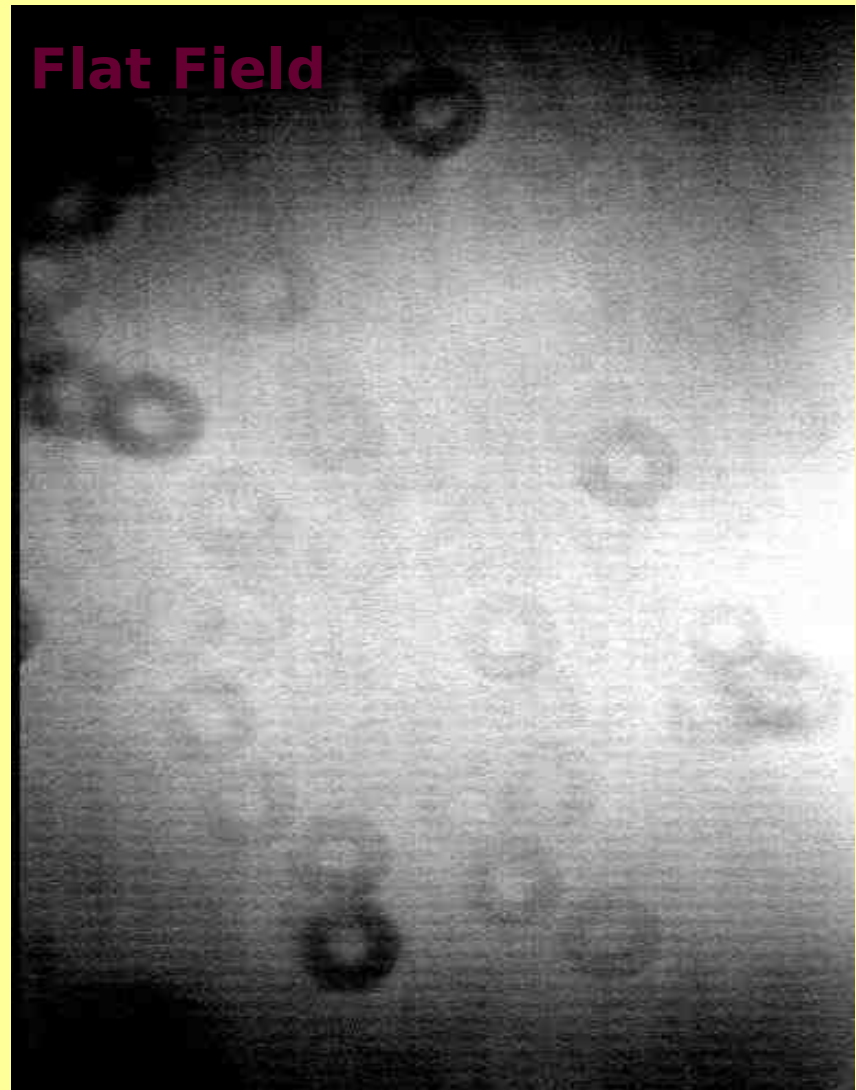
Serve a rivelare e rimuovere gli effetti della non uniforme risposta dei pixel colpiti da luce

Tipi di flat:

- dome
- sky flat

10 flat-field da mediare per creare Master flat

Deve essere normalizzato per il Valore medio dei conteggi



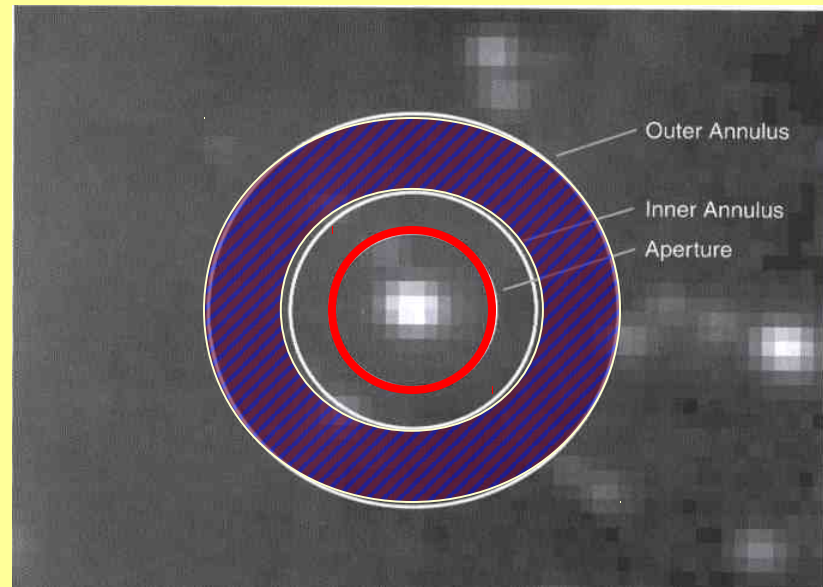
Procedure di riduzione

Ottenute le immagini fotometriche, i passaggi da eseguire sono:

1. Analisi delle immagini nei diversi filtri per ottenere informazioni sulla Full Width at Half Maximum (FWHM) delle stelle, sul tempo di posa, ecc...;
2. Ricerca automatica delle sorgenti presenti nell'immagine (daofind);
3. Calcolo automatico delle magnitudini di tutte le stelle trovate nel passaggio precedente (phot);

Fotometria di apertura

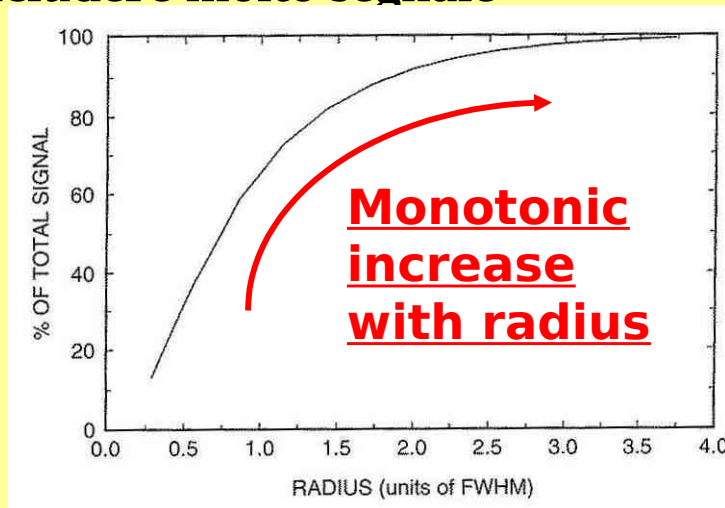
- Base: integrare tutti conteggi vicini al centro della stella



- Determinare il centro (x_0, y_0) della stella
- Integrare i conteggi (N_{ap}) con una misura di apertura centrata a (x_0, y_0) , con un'area = A_{ap}
- Stimare il segnale di fondo cielo per pixel S_{sky} usando un anello (mediana o moda), con un'area = A_{sky} (\approx per esempio $3A_{ap}$)
- Calcolare la magnitudine strumentale

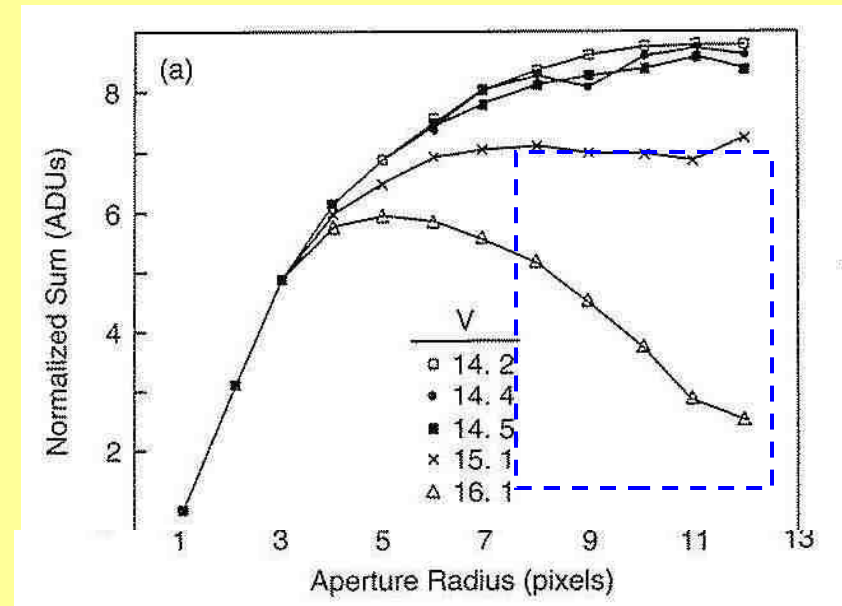
Fotometria di apertura

- Quali dovrebbero essere le dimensioni dell'apertura?
- Una grande apertura permette di includere molto segnale



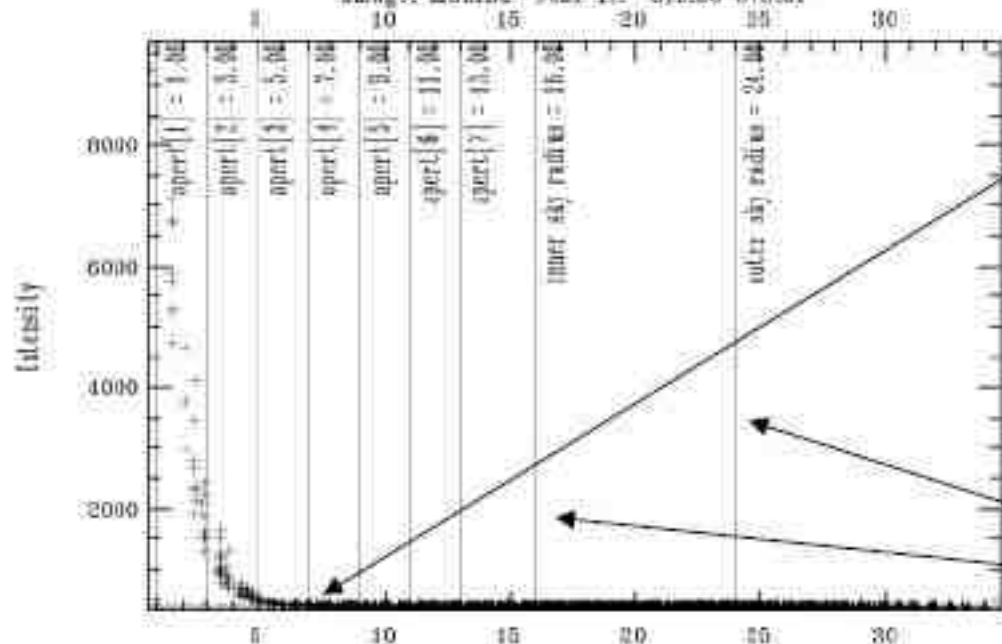
- D'altra parte, rapporto S / N di osservazione varia con le dimensioni dell'apertura a causa del contributo di fondo cielo

esempio curve di crescita per cinque stelle in un singolo frame CCD



Fotometria di apertura

NOAO/IRAF V2.11EXPORT bolto@mojave.nrcolick.org Wed 13:52:58 12-Apr-9
Center: xc=517.46 yc=672.49 xorr=0.00 yorr=4.00
Sky: value=348.55 sigma=10.84 skew=-5.12 nsky=837 proj=159
Photometry: maxapert=13.00 mag=12.034 merr=0.004
Image: month2 Star 1: 518.30 675.01



Calibrazione fotometrica

Un esempio (per il sistema di Johnson-Cousins):

UBVRI PHOTOMETRIC STANDARD STARS IN THE MAGNITUDE RANGE $11.5 < V < 16.0$
AROUND THE CELESTIAL EQUATOR¹

ARLO U. LANDOLT²

Louisiana State University Observatory, Baton Rouge, Louisiana 70803-4001

Received 7 January 1992; revised 6 March 1992

ABSTRACT

UBVRI photoelectric observations have been made on the Johnson-Kron-Cousins photometric system of 526 stars centered on the celestial equator. The program stars within a 298 number subset have sufficient measures so that they are capable of providing, for telescopes of intermediate and large size in both hemispheres, an internally consistent homogeneous broadband standard photometric system around the sky. The stars average 29 measures each on 19 nights. The majority of the stars in this paper fall in the magnitude range $11.5 < V < 16.0$, and in the color range $-0.3 < (B - V) < +2.3$.

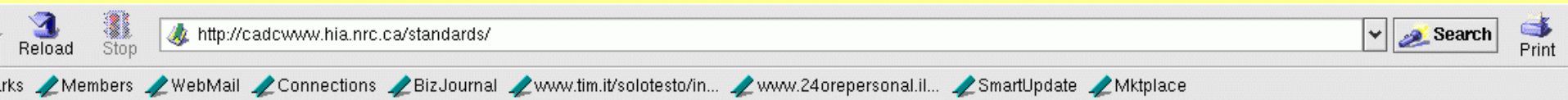
Landolt, 1983, AJ, 88, 439

Landolt, 1992, AJ, 104, 340

Molte delle stelle standard di Landolt sono troppo brillanti per i moderni CCDs.

Meglio usare l'estensione del catalogo di Peter Stetson:

<http://cadwww.hia.nrc.ca/standards>



The Canadian Astronomy Data Centre (CADC)

NRC-CNR

Stetson Photometric Standard Fields

	S	Field ID	XDSS	RA (2000)	DEC (2000)	RA Size	DEC Size	B Std	V Std	R Std	I Std	Last	Modified
More	R	NGC104	Image	00 23 22.80	-72 04 39.9	29.1	22.6	1486	1510	0	981	Dec 3 2003	12:14PM
More	R	NGC121	Image	00 26 48.10	-71 32 02.9	3.8	2.4	32	37	28	0	Dec 3 2003	12:14PM
More	R	NGC121_1	Image	00 28 05.70	-71 12 56.9	4.8	2.8	67	67	0	0	Dec 3 2003	12:14PM
	N	NGC121_2	Image	00 30 00.00	-71 29 59.9	0.0	0.0	7	10	9	0	Dec 3 2003	12:14PM
More	R	T_Phe	Image	00 30 27.10	-46 28 51.9	12.8	12.0	22	33	7	33	Dec 3 2003	12:14PM
	N	NGC147	Image	00 33 12.10	+48 30 32.0	0.0	0.0	0	19	0	19	Dec 3 2003	12:14PM
	N	BDm15d115	Image	00 38 00.00	-14 59 59.9	0.0	0.0	1	1	1	1	Dec 3 2003	12:14PM
	N	PG0039	Image	00 42 00.00	+05 10 00.0	0.0	0.0	1	1	1	1	Dec 3 2003	12:14PM
	N	BDm12d134	Image	00 47 00.00	-11 52 59.9	0.0	0.0	3	3	2	2	Dec 3 2003	12:14PM
	N	BDm11d162	Image	00 52 00.00	-10 39 59.9	0.0	0.0	1	1	1	1	Dec 3 2003	12:14PM
More	R	NGC288	Image	00 52 47.90	-26 35 04.9	14.7	14.8	523	525	0	524	Dec 3 2003	12:14PM
More	R	NGC300	Image	00 54 33.60	-37 55 53.9	6.8	8.4	10	10	2	4	Dec 3 2003	12:14PM
More	R	L92	Image	00 55 21.50	+00 51 37.0	36.1	38.5	108	157	36	154	Dec 3 2003	12:14PM
More	R	NGC362	Image	01 03 11.50	-70 50 11.9	14.6	16.5	863	881	0	877	Dec 3 2003	12:14PM
	N	Feigell	Image	01 04 00.00	+04 14 00.0	0.0	0.0	1	1	1	1	Dec 3 2003	12:14PM

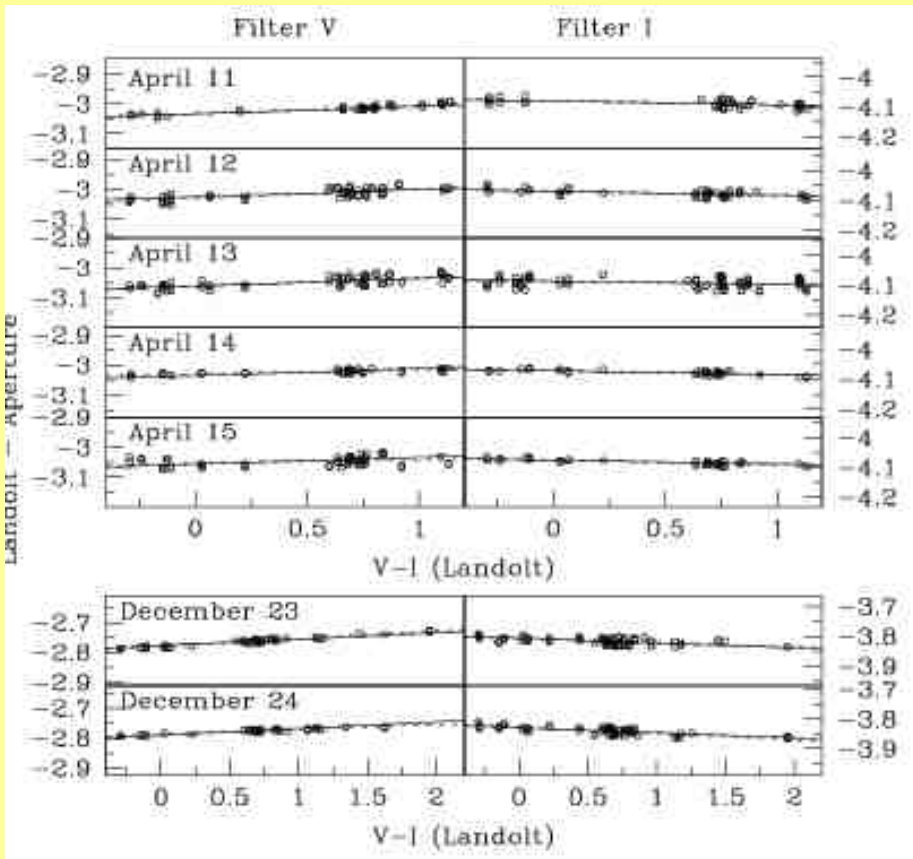
Passi per la calibrazione :

- Ottenere la fotometria di apertura delle stelle standard;
- Fare un fit dei dati delle stelle standard con una equazione del tipo:

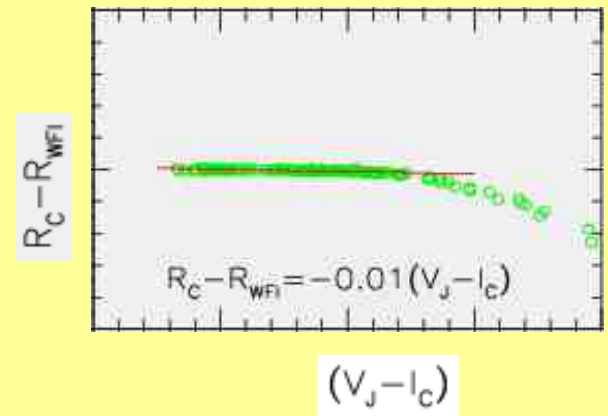
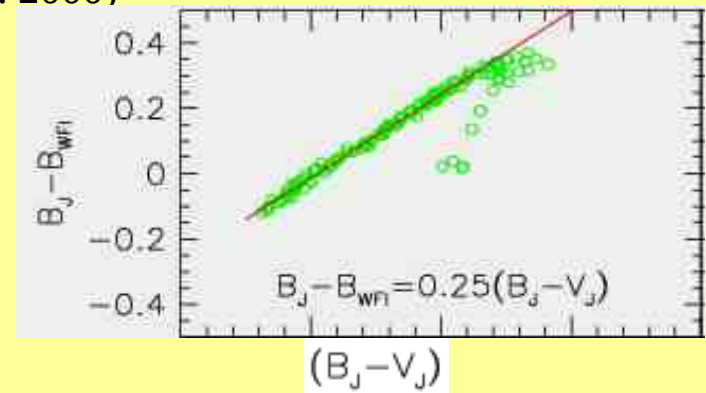
$$v = zp + V + k * X + ct * BV$$

$$v = V + a + b (B - V)$$

Esempio di una calibrazione nel sistema standard di Johnson-Cousins per il telescopio ESO-Dutch (da Rosenberg et al. 2000)

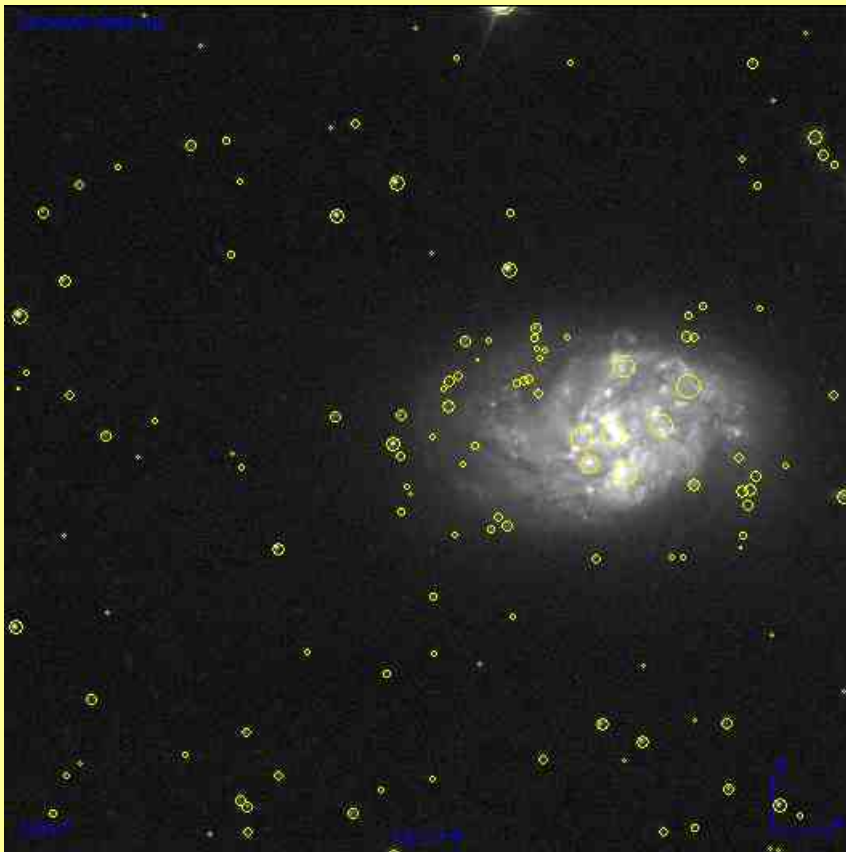


Altri esempi:



Photometric calibration with Aladin

<http://aladin.u-strasbg.fr/>



Aladin Java measurements frame

MAG_ISO: [mag] Isophotal magnitude

257	11.9750	0.0003	1116.922	1283.705	41.6644930	-0.5145958	0.0006533935	0.0005854
320	12.0837	0.0003	1577.378	1052.595	41.6390654	-0.4639459	0.0006198139	0.0005530
3	12.6398	0.0004	1056.016	84.384	41.5325886	-0.5212802	0.0004530792	0.0004155
233	13.3221	0.0004	925.137	1424.368	41.6799676	-0.5356924	0.000262981	0.0002522
273	13.3710	0.0004	1152.819	1296.539	41.6659038	-0.5106475	0.0002632256	0.0002484
278	13.5728	0.0005	88.266	1238.370	41.6595282	-0.6277408	0.0002541648	0.0002436
80	12.4016	0.0007	1254.651	746.183	41.6053717	-0.4994401	0.005266197	0.0019404
256	14.0565	0.0007	2003.002	1335.250	41.6701437	-0.4171333	0.000246979	0.0002333
286	14.0524	0.0007	1911.102	804.357	41.6117569	-0.4272355	0.0002374808	0.0002252
1	12.5048	0.0009	1270.337	695.828	41.5998332	-0.4977141	0.005219093	0.0019667
4	14.4788	0.0009	610.765	21.857	41.5257199	-0.5702541	0.0002336631	0.0002246
187	14.3814	0.0009	244.344	615.311	41.5909977	-0.6105658	0.0002367091	0.0002261
95	12.5254	0.0011	1347.845	805.300	41.6118717	-0.4891901	0.009640072	0.0032886
21	13.0964	0.0013	1214.641	739.747	41.6046647	-0.5038409	0.004749137	0.0018657
12	15.0769	0.0014	288.013	76.517	41.5317375	-0.6057555	0.0002267164	0.0002167
109	13.4615	0.0014	1313.838	756.725	41.6065300	-0.4929300	0.003455656	0.0011301
270	13.5117	0.0017	1267.441	831.262	41.6147287	-0.4980343	0.005031718	0.0015968
151	15.5126	0.0018	59.669	704.449	41.6008052	-0.6308799	0.0002173014	0.0002069
302	15.6424	0.0020	383.642	962.701	41.6292026	-0.5952481	0.0002206951	0.0002044
116	14.9062	0.0021	1225.368	708.625	41.6012416	-0.5026606	0.0007687914	0.0006457
251	16.0025	0.0026	1162.522	1346.088	41.6713532	-0.5095807	0.0002132497	0.0002034
285	16.0021	0.0027	1124.093	950.965	41.6278970	-0.5138031	0.0002159255	0.0002051
96	15.0068	0.0030	275.171	464.221	41.5743794	-0.6071731	0.001003591	0.0006281
301	14.5592	0.0032	1635.886	1121.786	41.6466741	-0.4575112	0.001481254	0.0014172
246	16.3309	0.0033	752.704	1371.323	41.6741371	-0.5546583	0.0002134933	0.0002029
290	15.3185	0.0034	473.736	1182.205	41.6533429	-0.5853409	0.0006149441	0.0005628
319	16.4851	0.0035	112.019	1058.842	41.6397823	-0.6251260	0.0002004589	0.0001896
261	16.4001	0.0036	514.270	893.401	41.6215781	-0.5808791	0.0002106097	0.0001998
292	16.5993	0.0042	983.642	1058.880	41.6397687	-0.5292531	0.0002080776	0.0002006
103	16.9044	0.0047	1933.116	435.730	41.5712141	-0.4248095	0.000192805	0.0001781
2	16.0554	0.0052	745.298	103.512	41.5346981	-0.5554575	0.000594491	0.0003999
220	17.0346	0.0054	509.719	504.315	41.5787847	-0.5813748	0.0001998505	0.0001834
141	16.9675	0.0055	980.989	732.397	41.6038609	-0.5295411	0.0002136769	0.0001946
199	17.1421	0.0060	910.661	1017.208	41.6351869	-0.5372800	0.0002052484	0.0001879
10	17.3253	0.0064	522.844	55.359	41.5294062	-0.5799253	0.000190796	0.0001832
66	17.3403	0.0066	1462.013	282.773	41.5544006	-0.4766257	0.0001931293	0.0001757
11	16.2650	0.0070	392.698	128.765	41.5374821	-0.5942415	0.0007674589	0.0005098
121	17.1439	0.0071	1805.194	1487.319	41.6868726	-0.4388925	0.0003869419	0.0001879
145	16.6923	0.0077	456.108	829.516	41.6145529	-0.5872758	0.0004817875	0.0004062

Load a:

- Image
- photometric catalog such as the Nomad

The image shows the Aladin v4.0 software interface. The main window displays a star field with a photometric catalog overlay. The 'Server selector' dialog box is open, showing a list of surveys. The 'GSC2.2' survey is selected. The 'SUBMIT' button is highlighted. Red circles and arrows indicate the workflow: clicking 'Load...' in the Aladin menu, then 'File' in the Server selector, then 'GSC2.2' in the survey list, and finally 'SUBMIT'.

Aladin v4.0

Load... Save... Tools... Plugins... Print... Help... Quit

Position: J2000 02:46:07.40 -00:29:57.2 Pixel: full 1091.0

SDSSNGC1087.fits

Server selector

Others: File al VO FOV Sexttractor

Images: Aladin images SkyView Sloan MAST CADC DSS... VLA... Others...

Surveys in VizieR ?

Specify a target and a survey name.

Target: 02 46 25.26 -00 31 29.3 Grab coord Get all

Survey: GSC2.2 Radius: 13.48' column

You can pick up a survey name from the list below

USNO-B1 - The USNO-B1.0 Catalog - 1045913Krow
USNO-A2 - The USNO-A2.0 Catalog - 526281Krow
2MASS - The 2MASS Point Source Catalogue (All-Sky 2003) - 470993Krow
NOMAD1 - The NOMAD Catalog (USNO-B1, UCAC2, 2MASS) - 1117613Krow
GSC2.2 - The GSC II Catalog, Version 2.2.01 - 456861Krow
UCAC2 - The USNaval CCD Astrograph Catalog (Dec++30) - 48331Krow
GSC1.2 - The HST Guide Star Catalog 1.2 - 25242Krow
Tycho-2 - The Tycho-2 Catalog (08-Feb-2000) - 2540Krow
SDSS-DR3 - The SDSS Photometric Catalog, Release 3 (2005) - 184509Krow
B/DENIS - The DENIS database (3rd Release 2005 version) - 355220Krow
AC2000.2 - Astrogaphic catalog (mean epoch around 1900) - 4622Krow
PPM - Positions and Proper Motions - 500Krow

Get info.

Reset Clear History **SUBMIT** Close

Aladin v4.0

select pan zoom dist draw tag text filter assoc setup cont mglss pixel prop del

GSC2.2 S-ex SDSSNGC1087 SDSSNGC1087

SDSSNGC1087.fits - C:\Documents and Settings\Standard\Mes documents\Fits et XML Zoom: 1/4x

TIPS: *** Detach the object measurements in a separated window ("out arrow" icon)

3 planes, 1 view, 8MB

Diagramma colore magnitudine

Ammasso Aperto

pre-riduzione

magnitudini
strumentali

“calibrazione”

