Scuola di Storia della Fisica

“Sulla Storia dell’Astronomia: il Novecento. Gli strumenti, le scoperte, le teorie.”

Asiago 22-26 Febbraio 2016

GLOSSARIO : Magnitudini

Biagio Buonaura GdSF & Liceo Scientifico Statale «Albertini» Nola (Na)

A Bruno CACCIN (1944 – 2004)

Professore di Astronomia

MAGNITUDINI

Nell'osservazione(ideale) astronomica di una stella, di una galassia ,ecc. sia:

$\Delta E_\nu \equiv$ l'**energia** raccolta nel tempo Δt, con un telescopio di area ΔA nell'intervallo di di frequenze ν, $\nu+\Delta\nu$.

Si definisce:

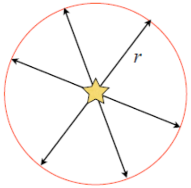
$F_\nu \equiv$ Flusso della radiazione al telescopio

La quantità:

$$\boxed{F_\nu = \frac{\Delta E_\nu}{\Delta t \Delta A \Delta \nu}}$$

Nell'ipotesi di **emissione isotropa** e **assenza di assorbimento o di emissione**, nota la distanza r della sorgente, la quantità L_ν pari a :

$$\boxed{L_\nu = 4\pi r^2 F_\nu}$$



è detta **luminosità della sorgente**.

Questa relazione è valida per ogni r, per la conservazione dell'energia (ovvero se non ci sono processi di emissione o assorbimento della radiazione oltre a quelli nella sorgente).

Pertanto la luminosità di una sorgente L_ν è definita come:

$L_\nu \equiv$ **Energia emessa dalla sorgente nell'unità di tempo** nell'intervallo di di frequenze ν, $\nu+\Delta\nu$.

E' la quantità che meglio caratterizza una sorgente astrofisica, pertanto:

$$\boxed{L_\nu = \frac{\Delta E_{em,\nu}}{\Delta t \Delta \nu}}$$

Segue l'importante relazione alla superficie della sorgente (supposta sferica di raggio R):

$$\boxed{L_\nu = 4\pi R^2 \mathscr{F}_\nu}$$

dove $\mathscr{F}_\nu$ è il flusso di radiazione alla superficie della stella!

Se integriamo su <u>tutte</u> le frequenze abbiamo quelle che sono dette le «**quantità bolometriche**»:

$$\boxed{F = \int_0^\infty F_\nu d\nu \quad ; \quad L = \int_0^\infty L_\nu d\nu \quad ; \quad \mathscr{F} = \int_0^\infty \mathscr{F}_\nu d\nu}$$

Quindi la relazione fondamentale:

$$\boxed{L = 4\pi R^2 \mathscr{F}}$$

Luminosità del Sole, $L_\odot = 3.86\times10^{26}$J s^{-1}

Luminosità delle Stelle L $\sim10^{-4}$ -- 10^{6} $L_\odot$

Luminosità delle Galassie L $\sim10^{9}$ -- 10^{13} $L_\odot$

La parola **magnitudine** (m) viene da "grandezza" (sostantivo), *magnitudo* in latino, in inglese *magnitude* . La definizione è quantitativa e precisamente legata al **flusso** (F) di energia che ci giunge dalla sorgente.
La definizione è la seguente:

$$\boxed{m_\nu = -2.5\log_{10} F_\nu + \text{costante}(\nu)}$$

dove ν è la frequenza della radiazione osservata.
Nel caso **bolometrico** (su tutte le frequenze) :

$$\boxed{m = -2.5\log_{10} F + \text{costante}}$$

La scelta della <u>costante</u> è fatta misurando il flusso F_0 di una <u>stella di riferimento</u> e assegnando a essa <u>una magnitudine arbitraria</u> m_0.
Quindi:

$$\boxed{m_{0\nu} = -2.5\log_{10} F_{0\nu} + \text{costante}(\nu)}$$

Pertanto:

$$\boxed{m_\nu - m_{0\nu} = -2.5\log_{10} \frac{F_\nu}{F_{0\nu}}}$$

Lo stesso vale per la magnitudine bolometrica:

$$\boxed{m - m_0 = -2.5\log_{10}\frac{F}{F_0}}$$

Si noti che:

Se $F > F_0 \Rightarrow m < m_0$ (Maggiore è il flusso minore è la magnitudine)
A $m_{0\nu} = 0$ nel visibile (ν(visibile) = $5.45 \cdot 10^{14}$Hz) per la stella VEGA che presenta un flusso $F_{0\nu} \approx 3.03 \cdot 10^{-9}$ J/sm^2.
Storicamente il« primo telescopio» è stato l'**occhio umano**. L'occhio riesce a rivelare in media ≈ 900 fotoni/s. Il diametro della pupilla d ≈5mm=$5 \cdot 10^{-3}$ m. Pertanto il **flusso minimo** ($F_{min\nu}$) che l'occhio può rivelare è dato da:

$$\boxed{F_{\min\nu} = \frac{N_{fotoni/s}h\nu}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{900\cdot 6.626\cdot 10^{-34}5.45\cdot 10^{14}}{\pi\left(\frac{5\cdot 10^{-3}}{2}\right)^2} = 1.66\cdot 10^{-11}\frac{J}{m^2 s}}$$

dove h= $6,626 \cdot 10^{-34}$ Js è la costante di Planck.
Pertanto la magnitudine visuale limite è data da:

$$\boxed{m_{\lim\nu} = -2.5\log_{10}\left(\frac{F_{\min\nu}}{F_{0\nu}}\right) = -2.5\log_{10}\left(\frac{1.66\cdot 10^{-11}}{3.03\cdot 10^{-9}}\right) \cong 5.65}$$

Un oggetto al limite visuale: la galassia di Andromeda

$m = 4$

Il primo a classificare le stelle in 6 Grandezze, in base allo splendore (apparente), fu **Ipparco di Nicea** (190 –120 B.C.):
Le stelle di 1° grandezza sono le più luminose. Quelle di 6° sono le più deboli visibili a occhio nudo.

Norman Robert Pogson (1829 – 1891) nel 1856, per una convenienza matematica e perché William Herschel aveva notato (circa 1800) che <u>un cambiamento di 5 magnitudini corrisponde a un fattore di circa 100 nel flusso,</u> introduce il fattore -2.5.

I più grandi telescopi **ground-based** raggiungono mag ≈26.

Se introduciamo al posto del flusso <u>misurato al telescopio</u> F_ν quello <u>misurato alla superficie della sorgente</u> $\mathscr{F}_\nu$ possiamo notare che:

$$\boxed{m_\nu = -2.5\log_{10}\left(\frac{\mathscr{F}_\nu R^2}{r^2}\right) + \text{costante}(\nu)}$$

e nel caso **bolometrico** (su tutte le frequenze) :

$$\boxed{m = -2.5\log_{10}\left(\frac{\mathscr{F} R^2}{r^2}\right) + \text{costante}}$$

La magnitudine (apparente) dipende dal flusso intrinseco della sorgente $\mathscr{F}_\nu$ dalle sue dimensioni R (raggio) e dalla sua distanza r. Per poter confrontare le sorgenti in base al loro splendore intrinseco si definisce la **magnitudine assoluta** M_ν come la magnitudine della stessa sorgente quando è posta ad una distanza r = 10pc (= 3.086×10^{16} m), quindi:

$$\boxed{M_\nu = m_\nu(r = 10\,pc) = -2.5\log_{10}\left(\frac{\mathscr{F}_\nu R^2}{100^2}\right) + \text{costante}(\nu)}$$

pertanto sottraendo membro a membro con la relazione che dà m_ν (r), si ottiene la <u>notevole relazione</u>:

$$\boxed{M_\nu - m_\nu = 5 - 5\log_{10} r}$$

La differenza M_ν - m_ν è detta **MODULO DI DISTANZA**.
La stessa relazione vale per le magnitudini bolometriche:

$$\boxed{M - m = 5 - 5\log_{10} r}$$

Qual'è la Magnitudine assoluta del Sole?

$m_{\odot}$ = -26.85

$r_{\odot}$ = 1AU = 1.496x10^{13}cm = 4.849x10^{-6}pc

$$M_{\odot} = m_{\odot} + 5 - 5 * \mathrm{Log}(r_{\odot}) \quad \Rightarrow \quad M_{\odot} \mathbf{= 4.72}$$

Vediamo altri esempi:

Moon: $r_{Moon} = 2.57 \times 10^{-3}$ AU $= 1.25 \times 10^{-8}$ pc

$m_{Moon} = -12.6$

$\Rightarrow$ $M_{Moon} = +31.92$

Sirio (α Canis Majoris): $r_{Sirio} = 2.64$pc

$m_{Sirio} = -1.47$

$\Rightarrow$ $M_{Sirio} = +1.42$

Prendiamo ad esempio Proxima Centauri (α Cen) e determiniamone la distanza:

$m_{\alpha Cen} = 0.00$

$M_{\alpha Cen} = +4.4$

$\Rightarrow$ $r_{\alpha Cen} = 1.3$pc

Se vogliamo confrontare la luminosità di due oggetti <u>dobbiamo</u> considerare la loro magnitudine assoluta.

Prendiamo la magnitudine assoluta del Sole:

$$\boxed{M_\odot = -2.5\,Log\left(f_\odot\right) + cost}$$

$$\boxed{M_\odot = -2.5\,Log\left(\frac{L_\odot}{4\pi(10pc)^2}\right) + cost}$$

Allo stesso modo prendiamo la magnitudine assoluta di αCen:

$$\boxed{M_{\alpha Cen} = -2.5\,Log\left(\frac{L_{\alpha Cen}}{4\pi(10pc)^2}\right) + cost}$$

per cui:

$$\boxed{M_{\alpha Cen} = M_\odot - 2.5\,Log\left(\frac{L_{\alpha Cen}}{L_\odot}\right)}$$

Quale sarà la luminosità di αCen rispetto al Sole?

Noi sappiamo che $L_{\odot}=3.83 \times 10^{33}$ erg/sec e dato che conosciamo le magnitudini assolute di αCen e del Sole:

$M_{\alpha Cen} = +4.4$ $\qquad$ $M_{\odot}=+4.72$

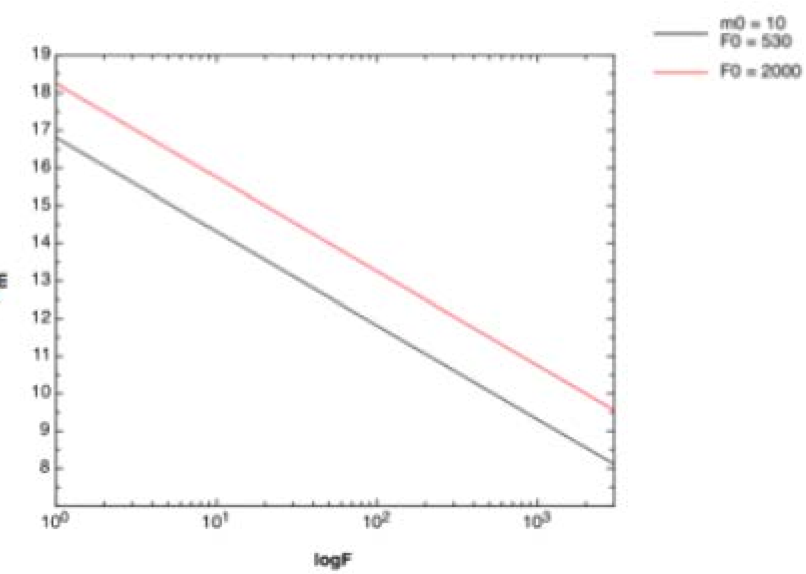
$$\boxed{\frac{L_{\alpha Cen}}{L_{\odot}} = 10^{-\frac{M_{\alpha Cen}-M_{\odot}}{2.5}}}$$

$L_{\alpha Cen} = 5.14 \times 10^{33}$ erg/sec

Stella	Magnitudine Apparente	Magnitudine Assoluta	Luminosità [erg/sec]	Luminosità $L/L_\odot$	Distanza [pc]	Distanza $r/r_\odot$
Sirio	-1.47	1.42	8.00×10^{34}	20.89	2.64	5.4×10^{5}
α Centauri	0.00	4.40	5.14×10^{33}	1.34	1.3	2.7×10^{5}
Sole	-26.85	4.72	3.83×10^{33}	1	4.85×10^{-6}	1
Luna	-12.6	31.92	5.05×10^{22}	1.3×10^{-11}	1.25×10^{-8}	2.6×10^{-3}

Nelle formule precedenti date sono implicite le seguenti notevoli ipotesi fisiche:
a) **Lo spazio fisico è Euclideo**
b) **Lo spazio fisico non è soggetto ad espansione**
Queste ipotesi sono verificate per oggetti relativamente vicini, come le stelle della nostra galassia. Per oggetti molto distanti, il **redshift cosmologico** dovuto alla legge di Hubble, e la **Relatività Generale** complicano il calcolo e rendono necessario aggiungere alla formula una correzione K.
D'altra parte il flusso F_ν di radiazione che arriva al telescopio dipende dall'apparato sperimentale (rivelatore, condizioni del cielo (seeing), assorbimento atmosferico, assorbimento interstellare , etc.) cioè è **filtrata** sia per cause naturali (assorbimento interstellare e atmosferico) sia artificialmente (efficienza quantica dello strumento, assorbimento delle ottiche)

Flussi misurati con due diversi telescopi



Per questo motivo viene definito il **flusso strumentale** $f_{\nu eff}$ definito come segue:

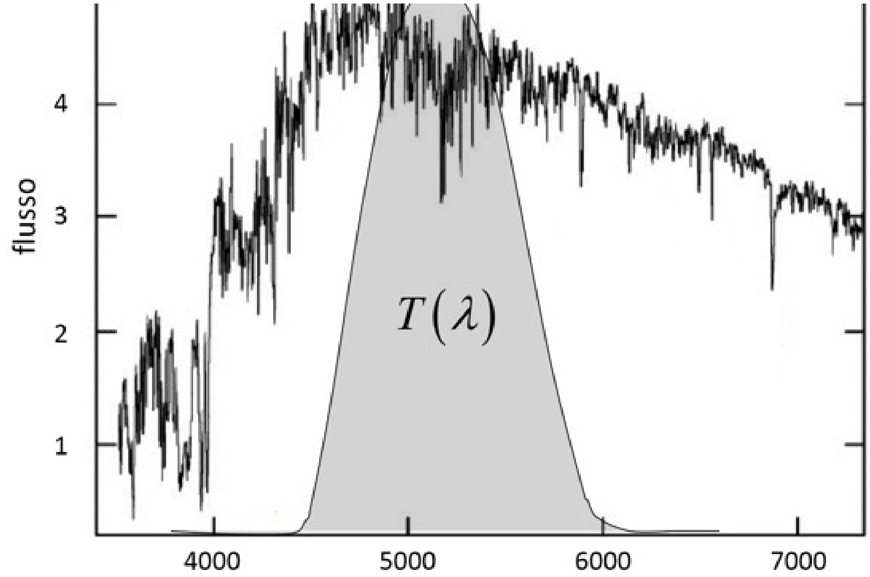
$$\boxed{f_{strum} = \frac{\int_0^\infty T(\nu)F(\nu)d\nu}{\int_0^\infty T(\nu)d\nu}}$$

con $T(\nu) \equiv$ **funzione filtro di banda fotometrica** (<u>Trasmissione</u>)
$T(\nu)$ riassume l'azione di filtraggio sia dovuta sia a cause naturali che a cause artificiali dovute al telescopio.
Viene definita inoltre la $\nu_{eff} \equiv$ **frequenza efficace o baricentro delle banda fotometrica**

$$\boxed{\nu_{\nu eff} = \frac{\int_0^\infty \nu T(\nu)F(\nu)d\nu}{\int_0^\infty \nu T(\nu)d\nu}}$$

Quindi risulta che approssimativamente:

$$f_{strum} = \frac{\int_0^\infty T(\nu) F(\nu) d\nu}{\int_0^\infty T(\nu) d\nu} \cong F_{\nu eff}$$



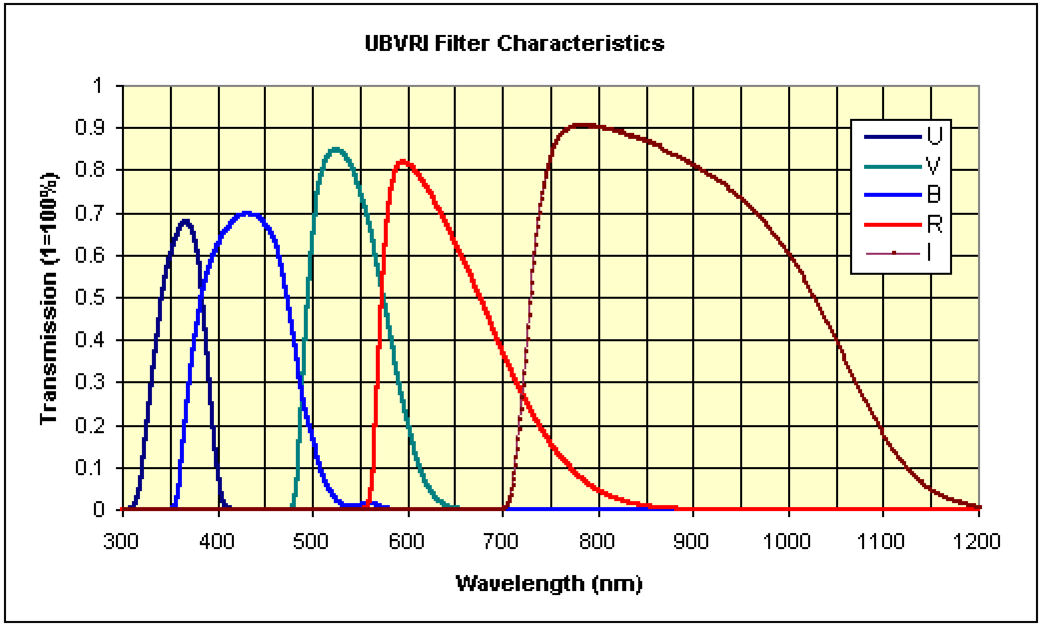
e quindi per la magnitudine risulta:

$$m_{\nu eff} = -2.5 \log_{10} F_{\nu eff} + \text{costante}(\nu_{eff})$$

Esistono **molti sistemi fotometrici** (insieme di bande/filtri) dove, in genere la bande spettrali vengono scelte in base all'assorbimento atmosferico.

Spesso la funzione filtro di banda è indicata con P(ν) che differisce da T(ν) in quanto <u>non viene considerato l'assorbimento interstellare</u>. Si noti che T(ν) (o P(ν)) sono funzioni che presentano un <u>massimo pronunciato</u> ($\approx \nu_{eff}$) e un <u>ristretto intervallo</u> (**ampiezza di banda**) in frequenza ($\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1$) o in lunghezza d'onda ($\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$) per cui $T \neq 0$ (o $P \neq 0$).

Filtri fotometrici e relative funzioni di trasmissione



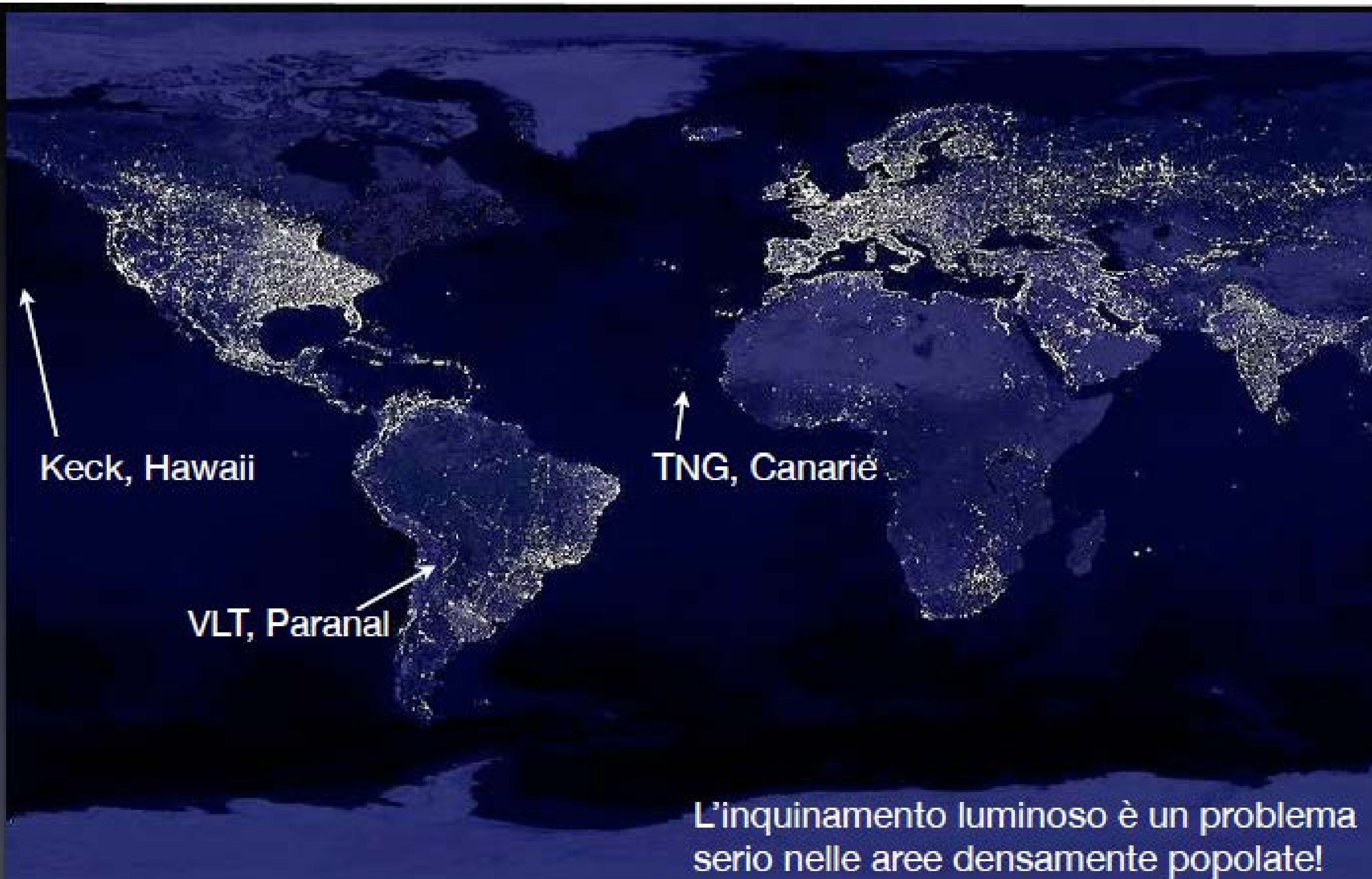
Filtro	λ (max) [nm]	Δλ (range) [nm]
U	350	70
B	435	100
V	555	80
R	680	150
I	800	150

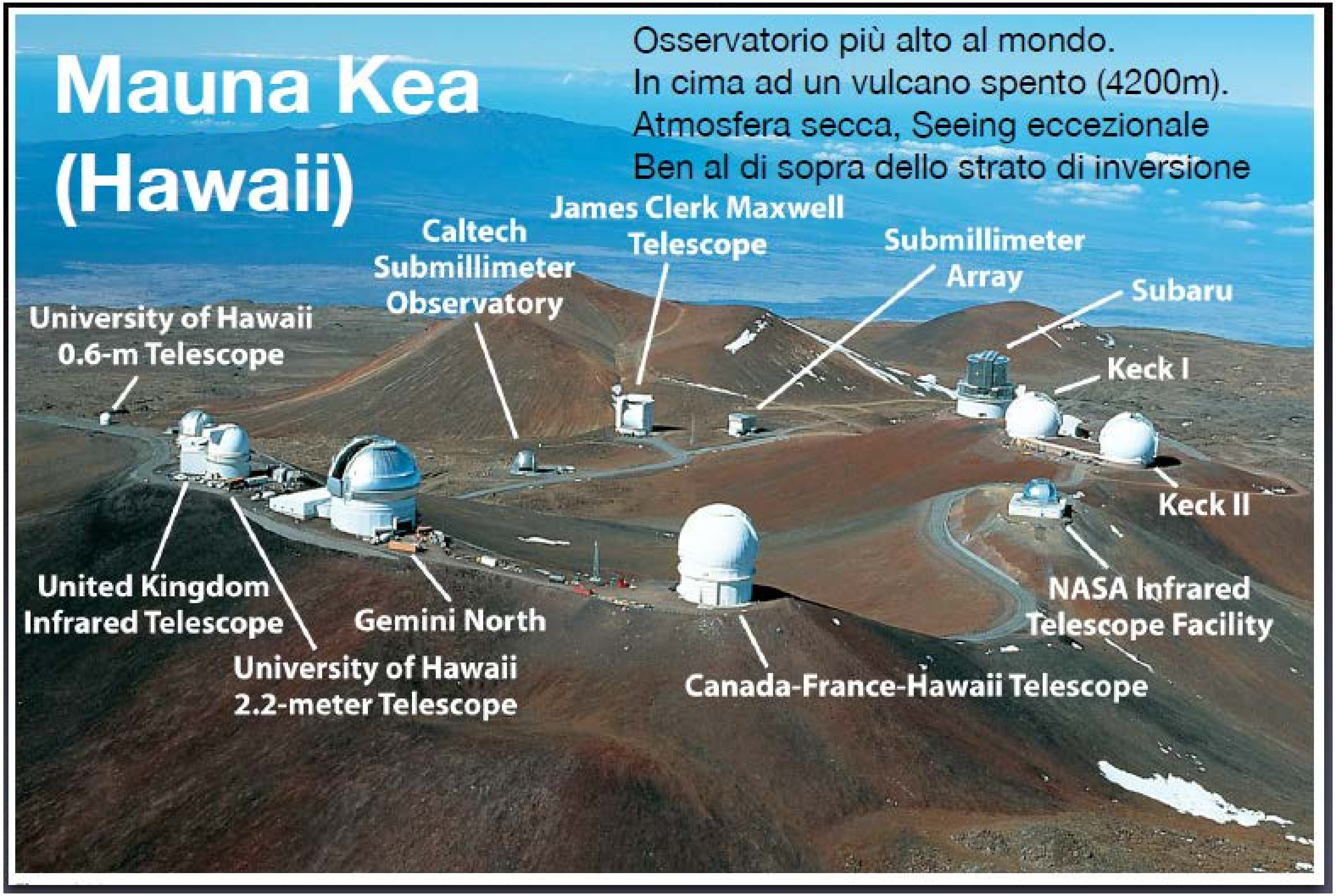
Diversi sistemi fotometrici ("**filtri standard**") sono stati sviluppati in diversi osservatori. Ovviamente , bisogna anche costruire leggi di trasformazione tra un sistema fotometrico ed un altro per poter confrontare le osservazioni.

Gli Osservatori a terra sono costruiti in posti remoti sulla cima delle montagne :
per evitare l'inquinamento luminoso; per stare al disopra dello strato di inversione (dove si formano le nuvole "basse"),per avere un'atmosfera secca (minore assorbimento), per avere buon seeing.

VLT - Paranal, Deserto di Atacama, Cile (2635 m)
Keck - Mauna Kea, Hawai, USA (4200 m)
TNG - La Palma, Canarie (2400 m).

Inquinamento luminoso




Mauna Kea
(Hawaii)
Osservatorio più alto al mondo.
In cima ad un vulcano spento (4200m).
Atmosfera secca, Seeing eccezionale
Ben al di sopra dello strato di inversione
James Clerk Maxwell Telescope
Caltech Submillimeter Observatory
Submillimeter Array
Subaru
University of Hawaii 0.6-m Telescope
Keck I
Keck II
United Kingdom Infrared Telescope
Gemini North
NASA Infrared Telescope Facility
University of Hawaii 2.2-meter Telescope
Canada-France-Hawaii Telescope

Paranal (Cile)

A 2635m nel deserto di Atacama.
Sito del Very Large Telescope
(European Southern Observatory).
Atmosfera eccezionalmente secca.
Seeing eccezionale.
Eccezionalmente buio (molto remoto).

Riferimenti

M. Capaccioli **Lezioni di Astrofisica** Università Federico II -Napoli

V. Castellani **Astrofisica Stellare** Zanichelli - Bologna

A. Bersanelli **Lezioni di Astronomia** Università di Milano

A. Marconi **Lezioni di Astrofisica** Università di Firenze

G. Giuliani e I. Bonizzoni **Lineamenti di Elettromagnetismo** – La Goliardica Pavese

F. Selleri **Lezioni di Istituzioni di fisica teorica** Università di Bari