



Istituto Nazionale di Astrofisica Osservatorio Astronomico di Palermo



LICEO SCIENTIFICO STATALE
S. CANNIZZARO PALERMO



IL CIELO

COME LABORATORIO



Prima lezione

Antonio Maggio

INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

Argomenti del giorno

- Posizione e moto degli oggetti di interesse astronomico (*astrometria*)
- Caratteristiche fisiche e chimiche di stelle e sistemi planetari (*astrofisica*)
- Strumenti e misure (*osservazioni astronomiche, reali e virtuali*)

Astrometria

- Misure di posizione (**unità sessagesimali**)
 - Sistema di coordinate ortogonali 2D (coordinate sferiche, **geometria non euclidea**)
 - Proiezione su un piano \Rightarrow **cartografia** (problema analogo in geografia e in astronomia)
- Misure di tempo
 - Unità di durata più usate: **secondi, giorni, anni** (in notazione esponenziale)
 - Unità di tempo d'osservazione: ***Julian Day (JD)***
- Misure di velocità
 - [spazio]/[tempo]: ad es. **km/s**, ma anche **arcsec/anno**

Giorno Giuliano (JD)



- Il giorno giuliano (Julian Day) è il numero di giorni trascorsi dal mezzogiorno del lunedì 1° gennaio 4713 a.C. (secondo il calendario giuliano)
- Proposto da Joseph Scaliger nel 1583, al tempo della riforma del calendario gregoriano (*ricerca storica*)

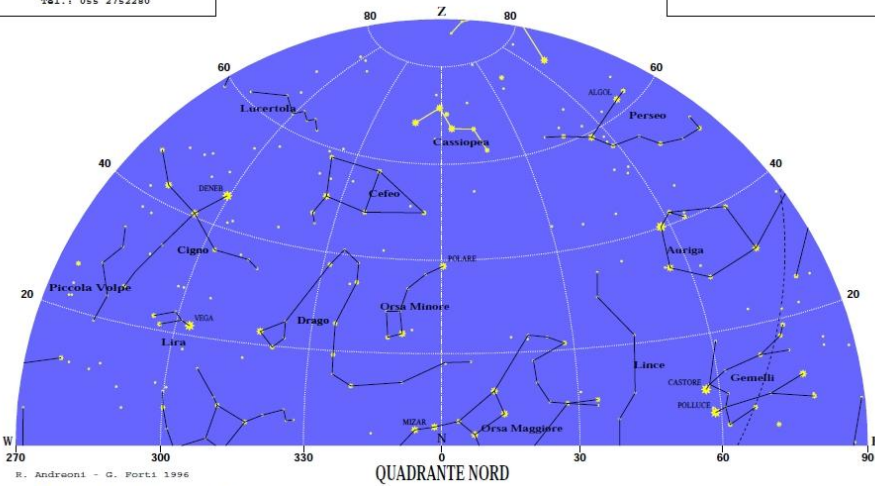
- Fornisce un sistema di date che può essere usato per unificare differenti cronologie storiche
- Non presenta la difficoltà di anni bisestili, cambi di calendario, eccetera.
- Oggi abbiamo iniziato la lezione alle JD 2455884,145833
- Il calcolo numerico necessita di elevata precisione (*informatica*)
- Esistono oggi anche delle *app* per iPhone, iPod e iPad

Coordinate alto-azimutali

OSSERVATORIO DI ARCETRI
ASSOCIAZ. ASTRONOMICA AMICI DI ARCETRI
<http://www.arcetri.astro.it>
Tel.: 056 2752280

VISTA ALTO-AZIMUTALE DEL CIELO PER IL GIORNO 18-11-2011
Località: Italy: Palermo

TEMPO CIVILE 21^h00^m00^s
LATTITUDINE 38°04'47"
LONGITUDINE E. 0°52'47"



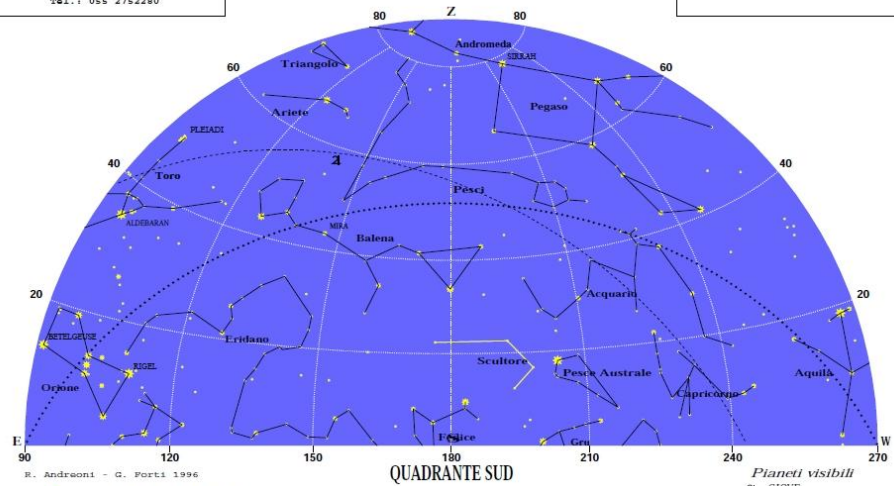
● = fino a 1.5 magnitudini
● = da 1.6 a 2.5 magnitudini
● = da 2.6 a 3.5 magnitudini
● = da 3.6 a 4.5 magnitudini

----- ECLITTICA

OSSERVATORIO DI ARCETRI
ASSOCIAZ. ASTRONOMICA AMICI DI ARCETRI
<http://www.arcetri.astro.it>
Tel.: 056 2752280

VISTA ALTO-AZIMUTALE DEL CIELO PER IL GIORNO 18-11-2011
Località: Italy: Palermo

TEMPO CIVILE 21^h00^m00^s
LATTITUDINE 38°04'47"
LONGITUDINE E. 0°52'47"



● = fino a 1.5 magnitudini
● = da 1.6 a 2.5 magnitudini
● = da 2.6 a 3.5 magnitudini
● = da 3.6 a 4.5 magnitudini

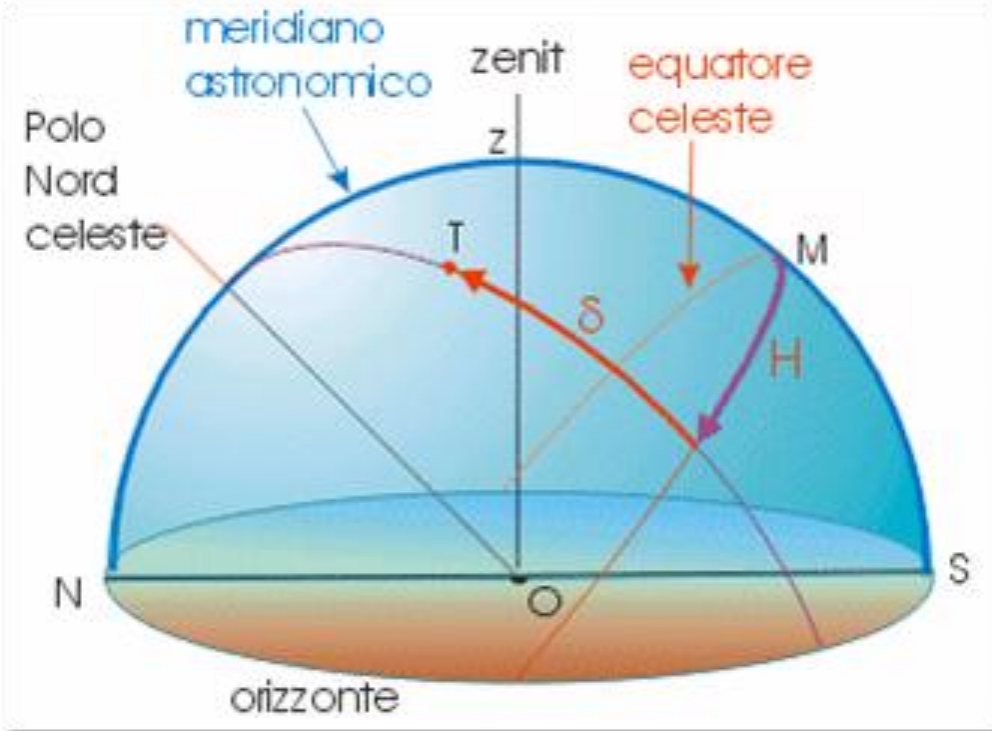
----- ECLITTICA

..... EQUATORE CELESTE

Pianeti visibili
♃ GIOVE

- *Azimuth* (0 – 360°) lungo l'orizzonte e
Altezza (0 – 90°) sopra l'orizzonte (angoli)
- La posizione di qualunque oggetto nel cielo dipende dal luogo e dal momento dell'osservazione

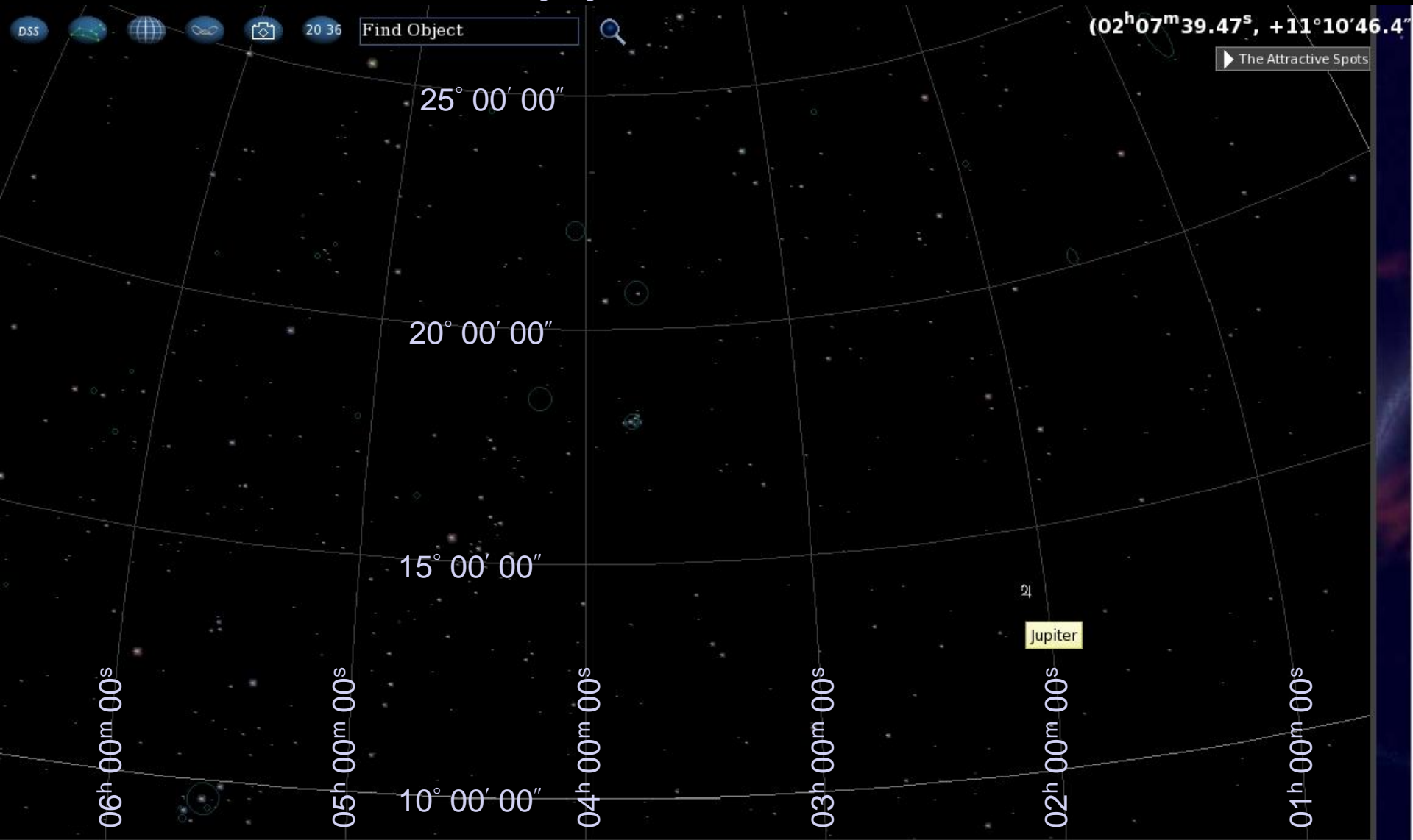
Coordinate equatoriali



- *Ascensione Retta* ($0 - 24^h$) lungo l'equatore celeste e *Declinazione* ($-90^\circ - +90^\circ$) lungo un meridiano passante per il Polo Nord celeste (Stella Polare)

- Posizione indipendente dal sito di osservazione, ma dipendente dall'orientazione dell'asse di rotazione della Terra (*Precessione degli Equinozi*) \Rightarrow necessità di riferirsi a un'epoca di osservazione (epoche standard nei cataloghi stellari moderni sono indicate con *B1950* oppure *J2000*)

Mappe stellari

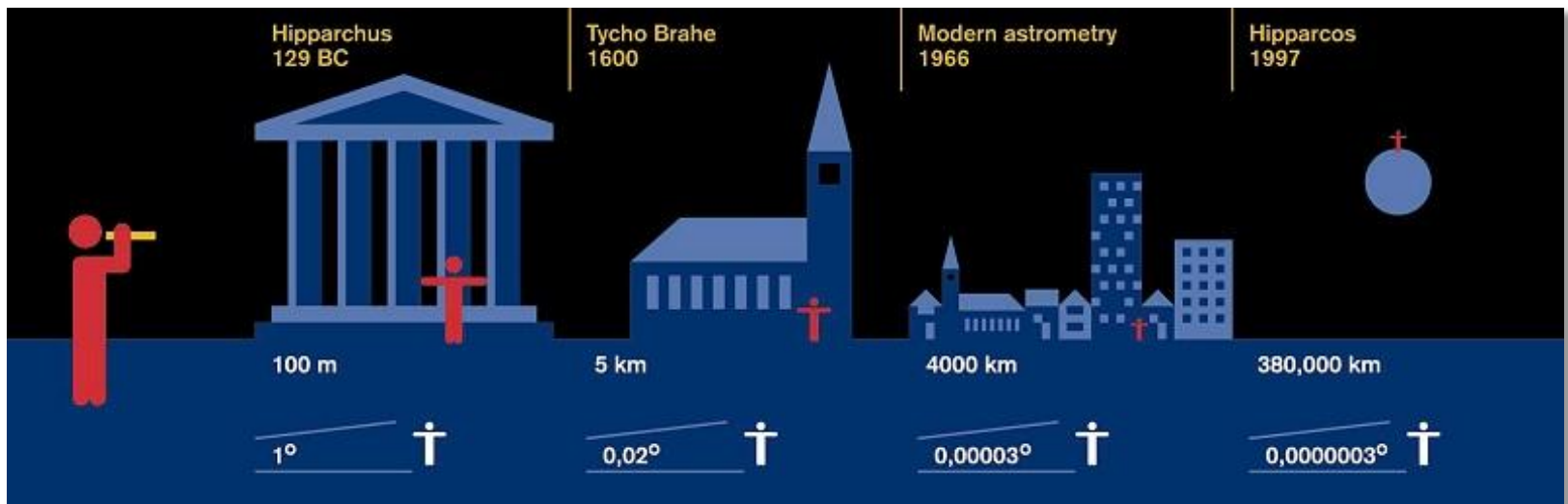


Breve storia dell'astrometria

- Necessità di compilare cataloghi stellari, con posizioni abbastanza precise da servire come punti di riferimento nel cielo, rispetto ai quali valutare il moto di pianeti e altri oggetti astronomici
- Ipparco di Nicea (190-120 a.C.)
 - Catalogo di circa 850 stelle e loro posizioni, con precisione $20' - 1^\circ$
 - Scala delle magnitudini stellari (misura della brillantezza)
 - Scoperta della *Precessione degli Equinozi*
- Tycho Brahe (1546-1601)
 - Catalogo con posizioni precise entro $30'' - 2'$
 - Scoperta di una Stella Nova (SN 1572) senza spostamento apprezzabile rispetto alle stelle fisse, quindi molto lontana
- Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846)
 - Prima stima della distanza di una stella (61 Cygni) dalla misura della parallasse (posizioni con precisione $\approx 0.1''$)

Astrometria dallo spazio

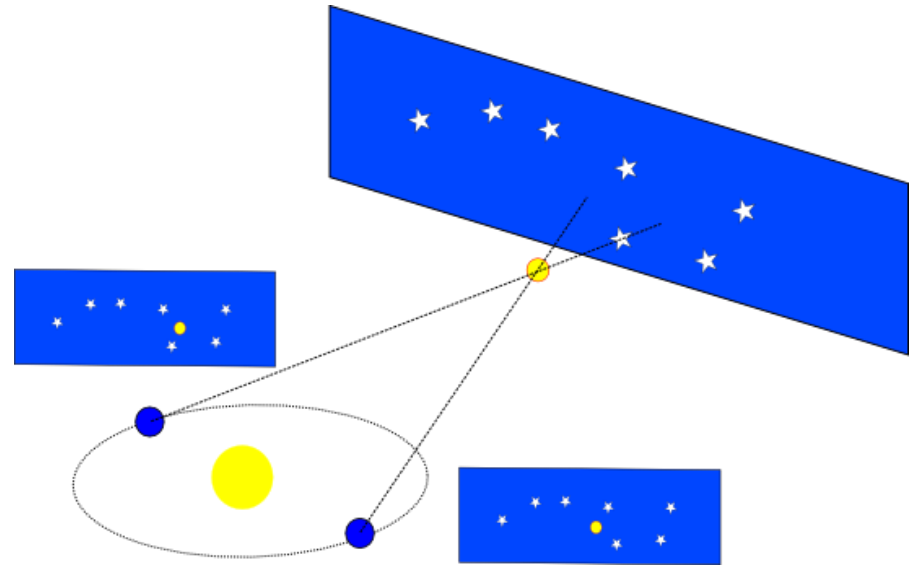
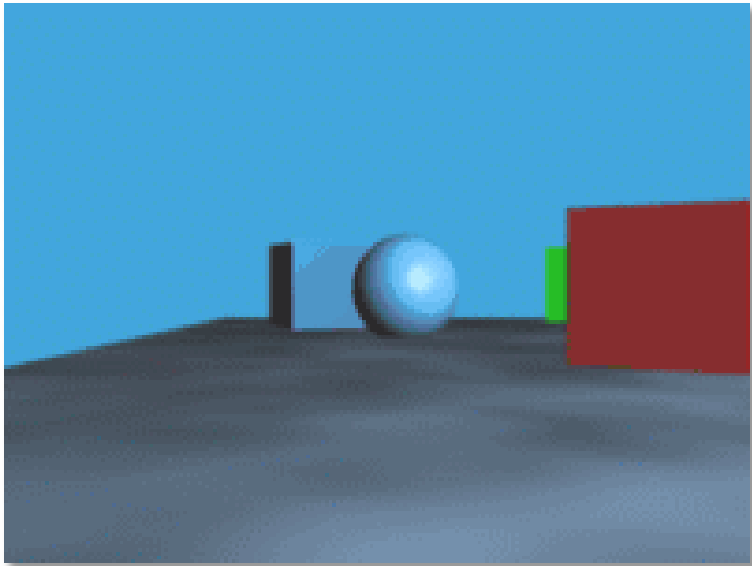
- Hipparcos (1989-1993)
 - Satellite scientifico dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA)
 - Catalogo Tycho2: circa 2,5 milioni di stelle con precisione 0.02–0.03"
 - Catalogo Hipparcos: **posizioni, parallassi e moti propri** di 118.000 stelle con precisione 0.001" (*1 mas*)



- GAIA (2013-)
 - Prossima missione dell'ESA
 - Obiettivo: 1 miliardo di stelle, precisione 20-200 μ as (microarcsec)

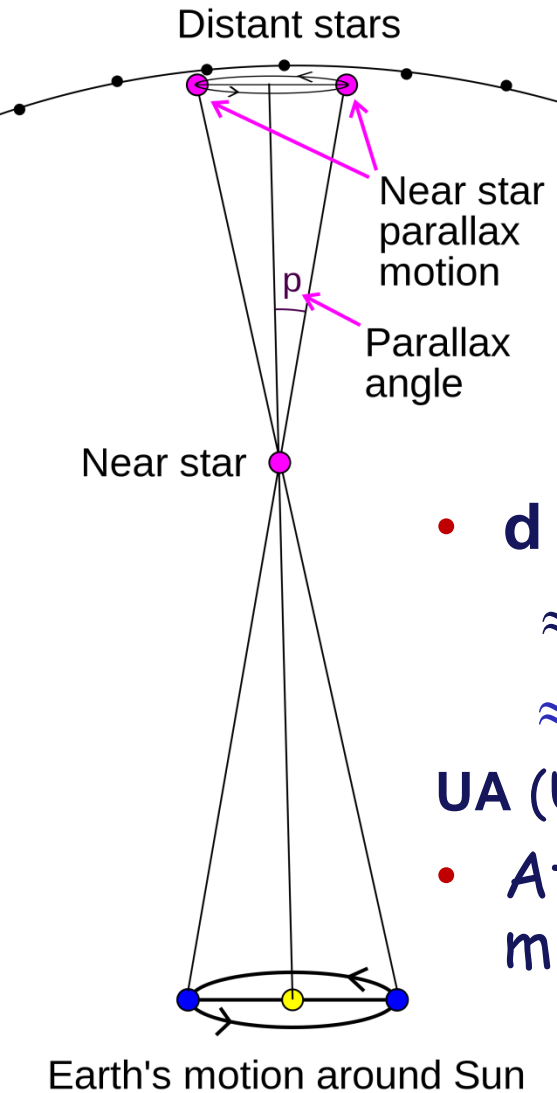
Distanze

- Metodi geometrici
 - Parallasse: spostamento apparente della posizione di un oggetto vicino rispetto ad altri più lontani quando cambia il punto di osservazione



- Altri metodi (tema della *scala delle distanze* in astronomia)
 - Metodi cinematici (vedi esercizi)
 - Metodi fisici (parallassi spettroscopiche, parallassi dinamiche, relazione luminosità-periodo delle Cefeidi, redshift cosmologico, ecc.)

Misure di distanza in parsec



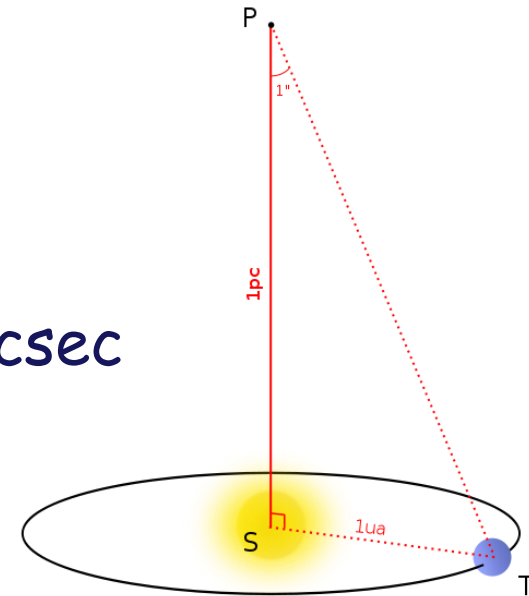
- $d \text{ [pc]} = 1 / p \text{ [arcsec]}$
dove p è la parallasse
annuale misurata in arcsec

- $d = \text{UA} / p \text{ [rad]}$
 $\approx d \text{ [pc]} \times \text{UA} \times 3600 \times 180/\pi$
 $\approx d \text{ [pc]} \times 3,1 \times 10^{18} \text{ cm}$

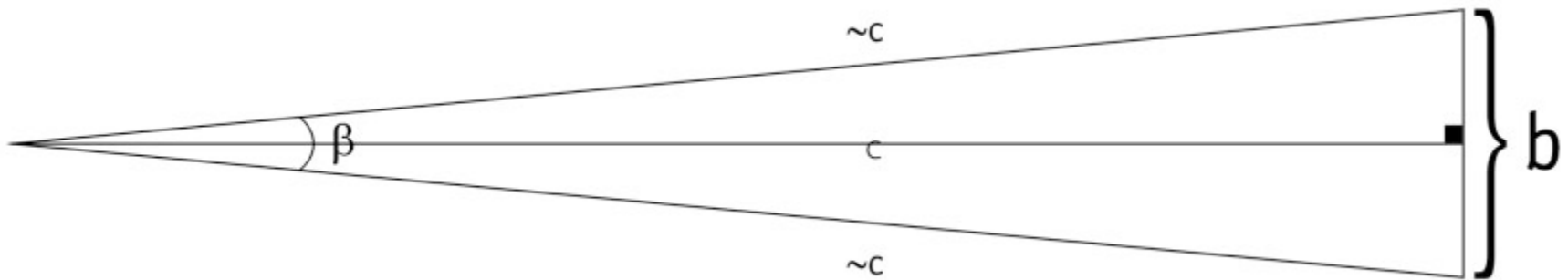
UA (Unità Astronomica) = distanza media Terra-Sole

- Attenzione al **calcolo dell'errore** su questa misura di distanza:

$$\delta d = \delta \left(\frac{1}{p} \right) = \left| \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{1}{p} \right) \right| \delta p = \frac{\delta p}{p^2}$$



Grandi distanze, piccoli angoli

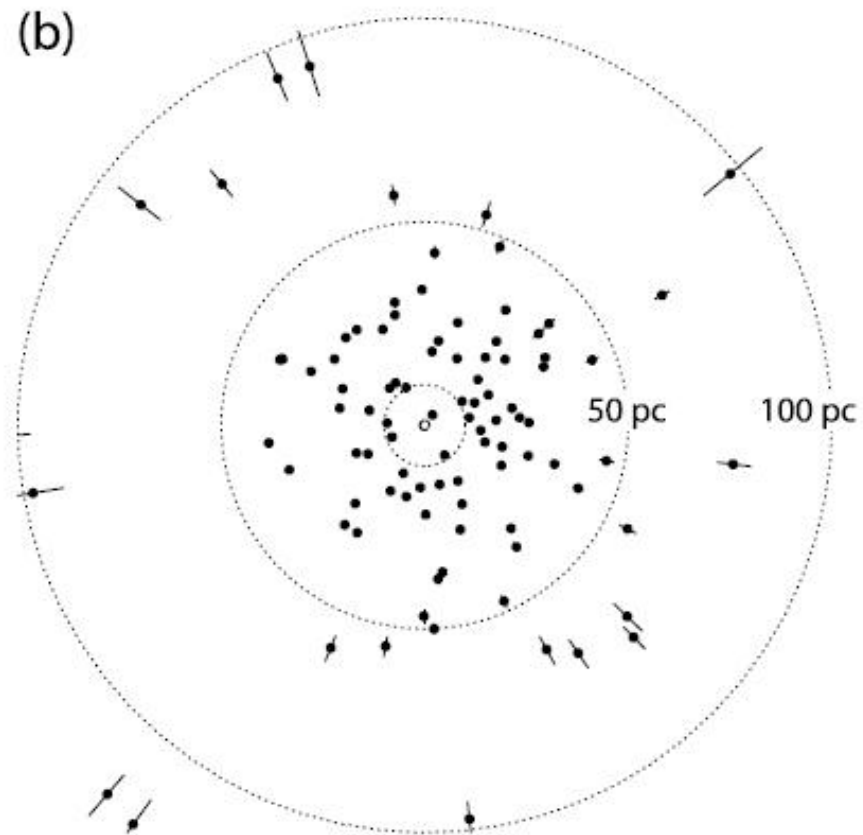
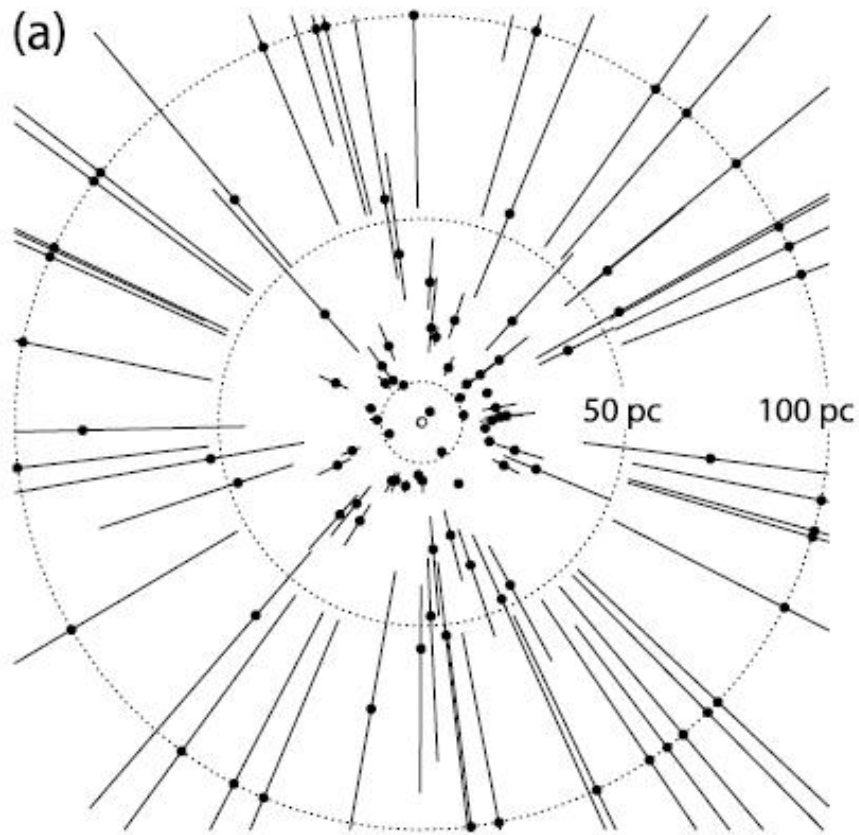


- Teorema della corda: $b = 2c \sin(\beta/2)$
- Approssimazione trigonometrica per piccoli angoli:
Se β è piccolo $\Rightarrow \sin(\beta) \approx \beta$ (β espresso in radianti)
- $b \approx 2c \beta/2$
- $\Rightarrow c \approx b / \beta$
- Non è indispensabile conoscere la trigonometria, tranne che per la nozione di angolo espresso in radianti!

• Esercizio:

Qual è l'errore che si commette con questa approssimazione?

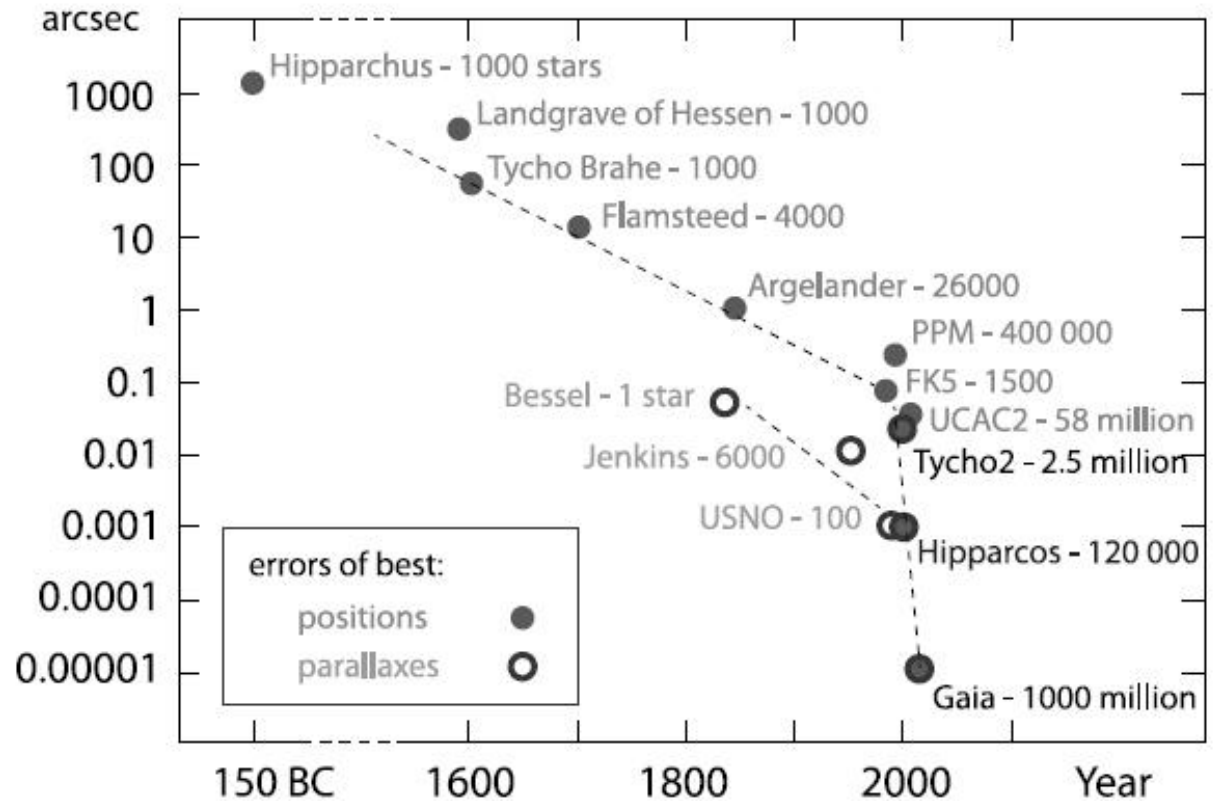
Distanze di stelle vicine al Sole



- Miglioramento della precisione grazie alle misure ottenute con il satellite Hipparcos

Accuratezza astrometrica

Fig. 3 The accuracy of the Hipparcos and Tycho Catalogue astrometry, placed in their historical context. Separate accuracy tracks are shown for positions and parallaxes. Hipparcos provided not only the most accurate stellar positions, but also the largest improvement factor ever achieved (courtesy Erik Høg)



- Miglioramento della precisione di misura nel tempo

Unità ed altri dati utili

Angoli

1 arcminuto = 1' = 1/60 di grado = $2,9089 \times 10^{-4}$ radianti

1 arcosecondo = 1" = 1/3600 di grado = $4,8481 \times 10^{-6}$ radianti

1 milliarcosecondo (mas) = 1/1000 arcsecondo

Distanze

1 UA = $1,496 \times 10^{11}$ m

1 parsec (pc) = $3,086 \times 10^{13}$ km = 3,26 anni-luce

1 kiloparsec (kpc) = 1000 parsec

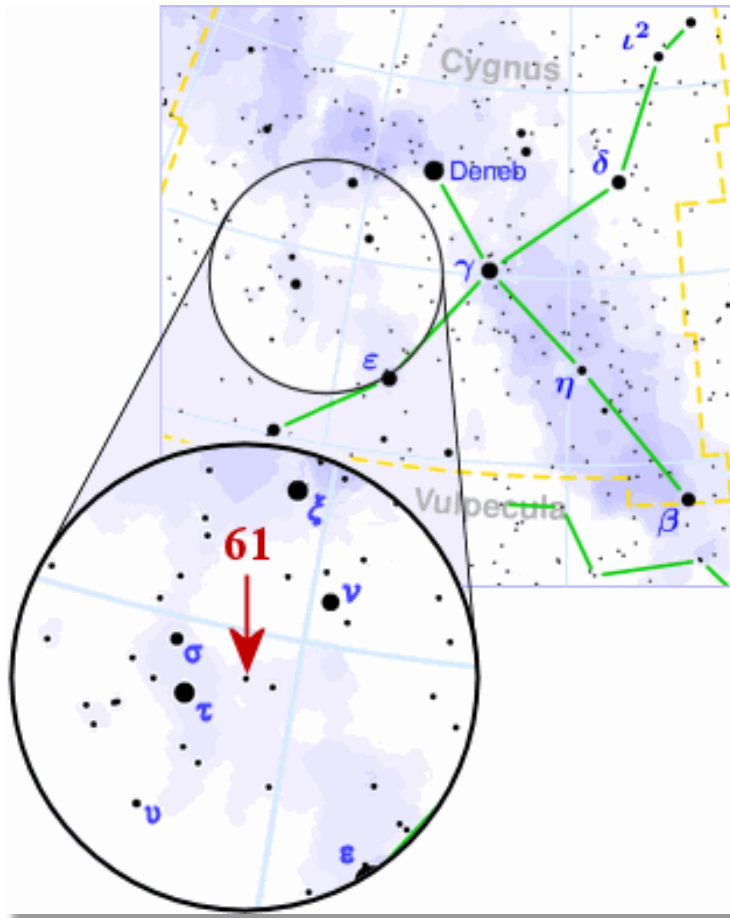
1 Megaparsec (Mpc) = 10^6 parsec

Altro

1 nano metro (nm) = 10^{-9} m

Velocità della luce (c) = $2,997 \times 10^8$ m/s

Esercizi di base

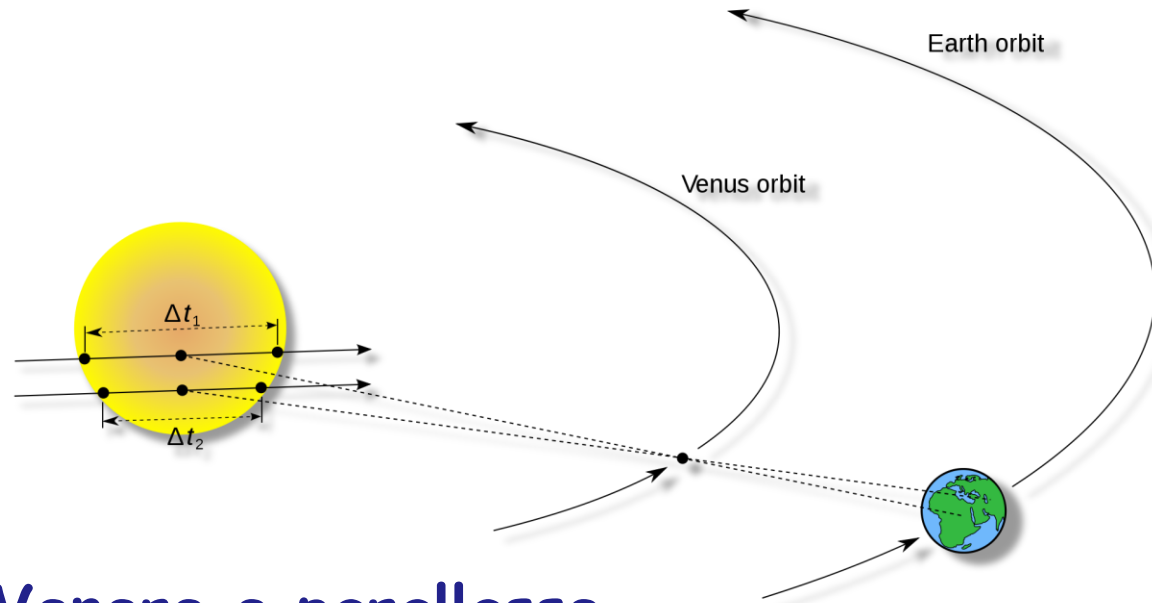


- **Piazzi, Bessel e 61 Cygni**
 - Già nel 1804 **Giuseppe Piazzi** a Palermo dimostrò per la prima volta che la stella 61 Cyg si spostava considerevolmente rispetto alle altre, tanto da battezzarla *La Stella Volante*. La prima misura di parallasse venne effettuata da Friedrich Bessel nel 1838 e risultò di **313,6 mas**. La distanza oggi nota è di **11,36 anni-luce**. Di quanto era sbagliata la misura di Bessel?

Esercizi di base

- Quanti anni luce dista la Terra dal Sole?
- La stella a noi più vicina, α Centauri, dista circa 268.000 UA dal Sole. Qual è la sua parallasse? Con quale precisione occorre misurarla per calcolare una distanza con un errore inferiore al 10%?
- Il satellite **GAIA** dell'ESA, il cui lancio è previsto nel 2013, si prevede che consentirà di effettuare misure astrometriche con una precisione compresa tra 20 e 200 μas , a seconda della brillantezza delle stelle osservate. Quale sarà la distanza massima misurabile con un'incertezza del 10%?

Esercizio avanzato

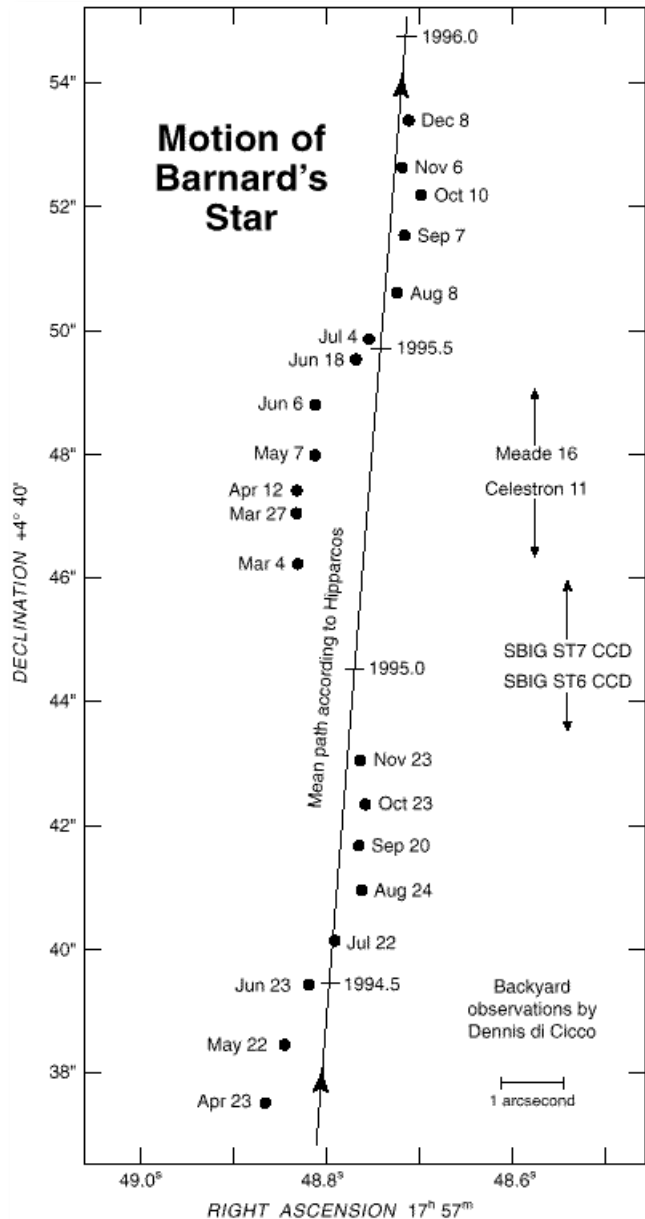


- **Transito di Venere e parallasse**

- Tra il 5 e il 6 giugno 2012 il Sole, Venere e la Terra saranno perfettamente allineati. Il **transito** di Venere davanti al disco del Sole sarà visibile da alcune località sulla Terra, ma per via dell'effetto di parallasse la durata del transito sarà diversa se misurata da siti a diversa latitudine geografica. Dimostrare che sarà possibile derivare la distanza Sole-Terra combinando i risultati forniti da diversi osservatori astronomici.

Esercizio avanzato

- La stella di Barnard è una piccola stella (invisibile a occhio nudo) nella costellazione Ophiucus (la 13° costellazione dello Zodiaco!) con il più veloce **moto proprio** conosciuto. La figura mostra lo spostamento apparente della stella di Barnard in un arco di tempo di circa 2 anni, durante il quale è ben visibile anche l'oscillazione annuale dovuta all'effetto di parallasse. Stimare la parallasse annuale e quindi la distanza della stella e successivamente il moto proprio.

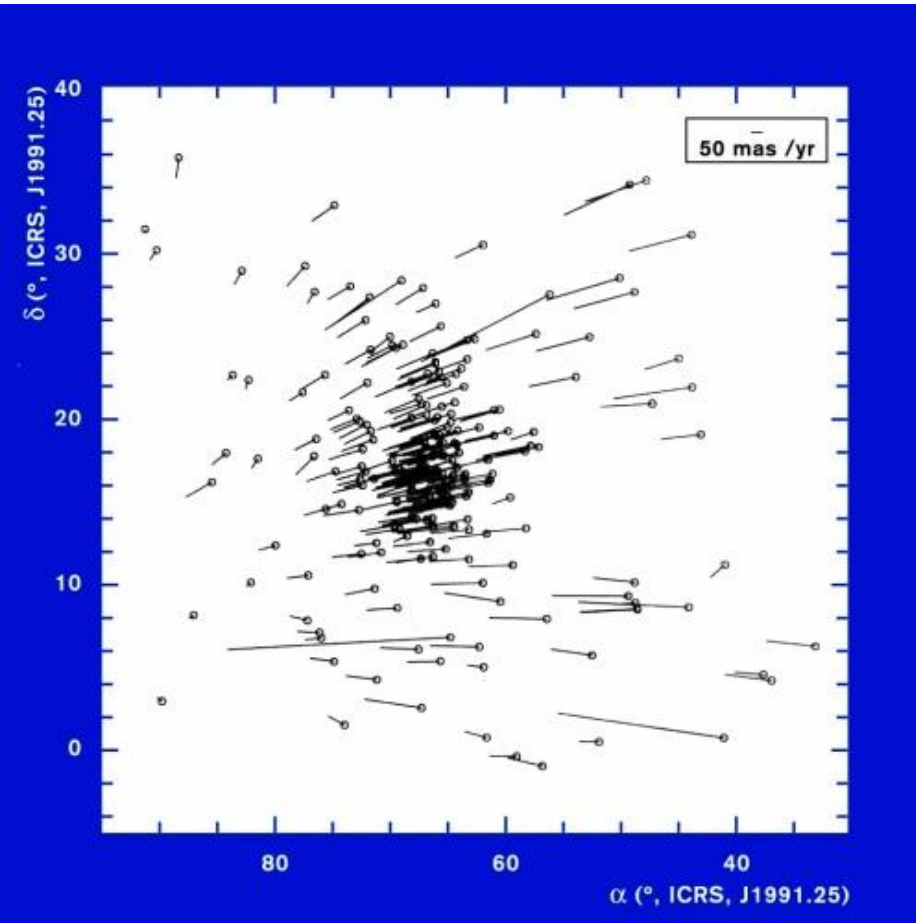


Moto proprio stellare

- Spostamento apparente, al netto dell'effetto di parallasse

- Si tratta di un moto visto in proiezione
- Per calcolare la velocità media di spostamento occorre una misura della **velocità radiale** (lungo la direzione di osservazione) e la distanza degli oggetti
- Stelle aventi posizioni e moti propri simili fanno usualmente parte di gruppi fisicamente omogenei (**ammassi stellari o associazioni**).

La figura mostra i moti propri delle stelle dell'ammasso aperto della Iadi, nella costellazione del Toro, misurati dal satellite Hipparcos.



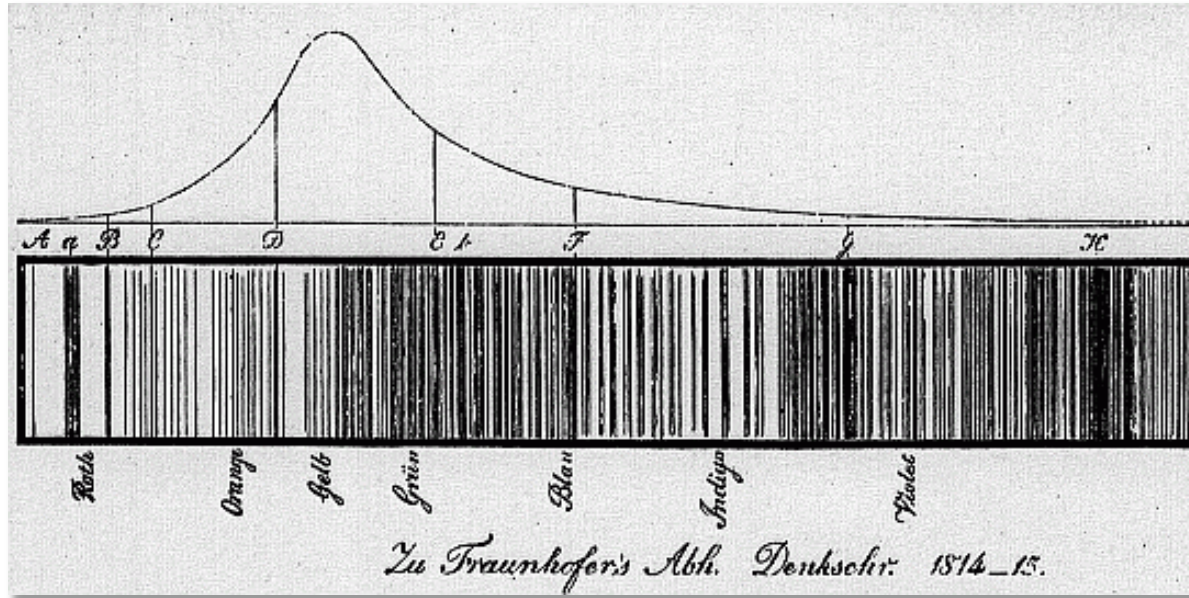
Dall'astrometria all'astrofisica

- Le misure astrometriche del moto dei pianeti effettuate da Tycho Brahe portarono alla formulazione empirica delle **Leggi di Keplero**
- Si deve a Newton la dimostrazione che queste leggi, e quindi la dinamica dei pianeti, può essere spiegata con la stessa **legge di gravità** che governa il moto dei corpi sulla Terra: è questo il primo esempio di unificazione tra astronomia e fisica
- Il successivo passo avanti avviene nella seconda metà dell'800 con lo sviluppo della **spettroscopia**

Nascita della spettroscopia e dell'astrofisica

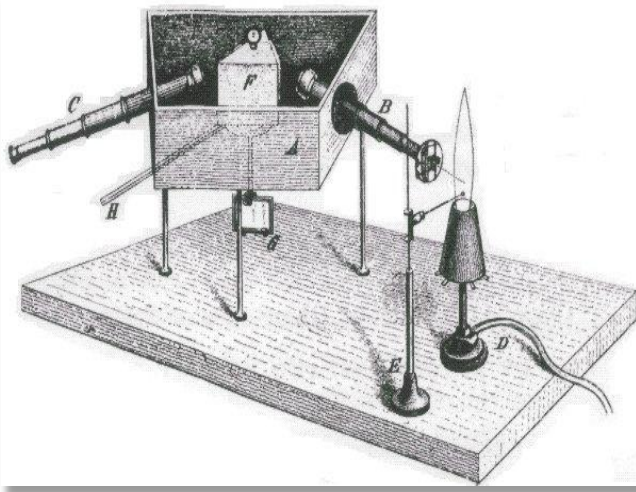
1817: Spettro di Fraunhofer del Sole

- Fraunhofer costruisce uno spettroscopio basato su un prisma e osserva il Sole



Le righe scure (indicate alfabeticamente) furono da lui utilizzate innanzi tutto come standard di lunghezza d'onda per la determinazione degli indici di rifrazione dei vetri per uso ottico da lui costruiti. Altri fisici realizzarono presto che tali righe potevano essere utilizzate per derivare le proprietà dell'atmosfera solare.

Dalla riga gialla del sodio all'astrofisica



- 1849:** J.B.L. Foucault notò che la doppia riga brillante del sodio, prodotta in laboratorio, coincideva esattamente con la doppia riga scura dello spettro solare (riga D di Fraunhofer *in assorbimento*).

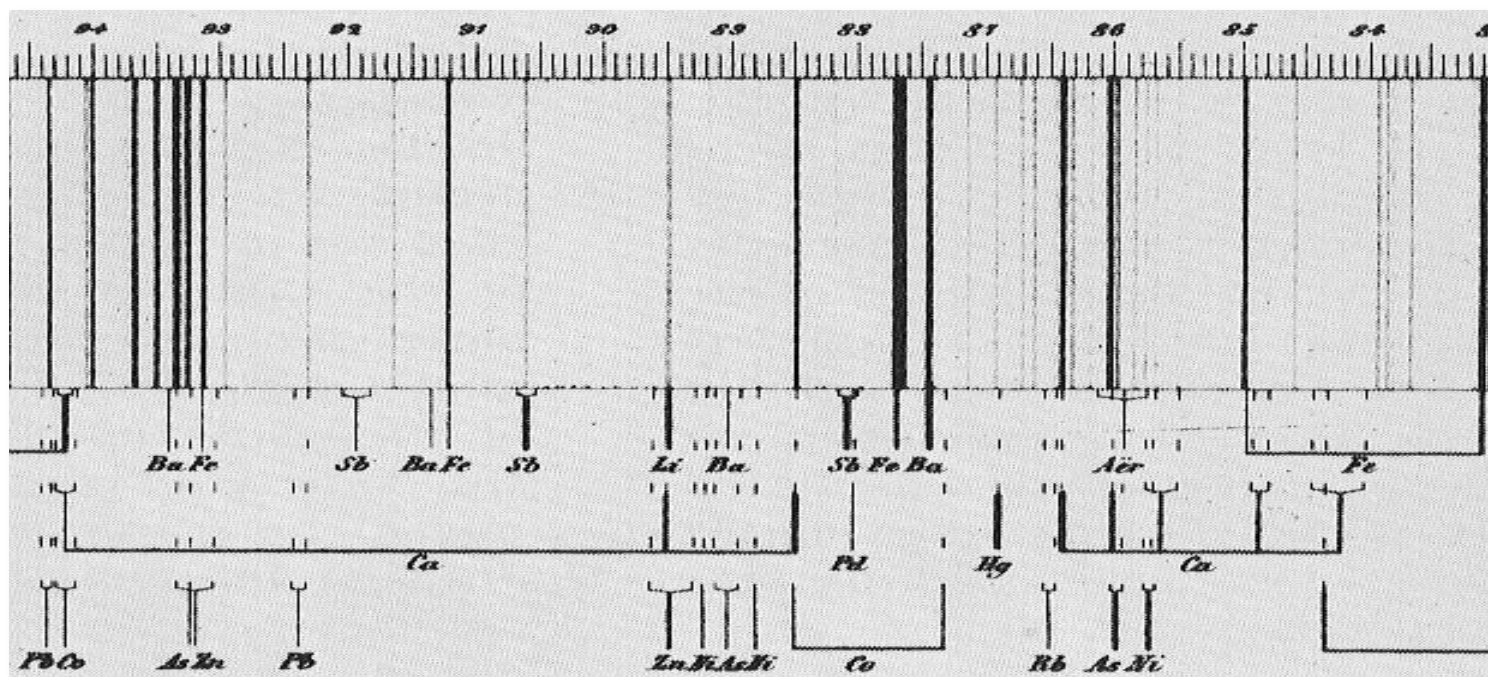
- 1859:** Bunsen e Kirchhoff scoprono che ogni elemento chimico, se portato all'incandescenza, presenta uno spettro della luce emessa, composto da *righe brillanti (in emissione)* caratteristiche, che possono servire ad identificarlo univocamente.

- La spettroscopia consente di indagare la composizione chimica di oggetti quali le atmosfere stellari, divenendo un potente strumento per la nascente astrofisica.



Bunsen e Kirchhoff

Identificazione delle righe nello spettro di Fraunhofer, per confronto con spettri in emissione di specifiche sostanze chimiche, ottenuti in laboratorio (1859).

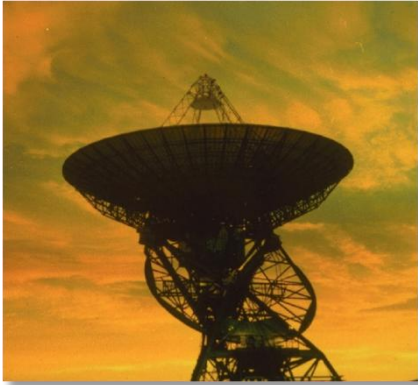


Mappa dello spettro solare pubblicata da Kirchhoff nel 1863, con le identificazioni di molte righe scure con vari elementi chimici.

Quali caratteristiche fisiche?

- L'astrofisica si basa sulla conoscenza della natura della luce
- Quantità derivabili direttamente dall'analisi della luce proveniente dagli oggetti celesti sono
 - Luminosità
 - Temperatura
 - Composizione chimica
 - Densità
 - Velocità
- Per una migliore comprensione di pianeti, stelle, galassie e del gas e polvere interstellari occorrono (possibilmente) osservazioni di questi oggetti attraverso tutto lo **spettro elettromagnetico**

Quali strumenti osservativi?



- Radiotelescopi, essenzialmente grandi antenne



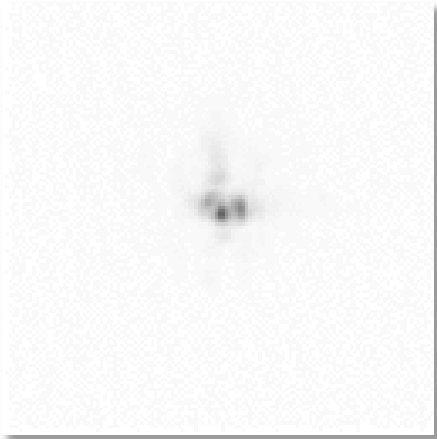
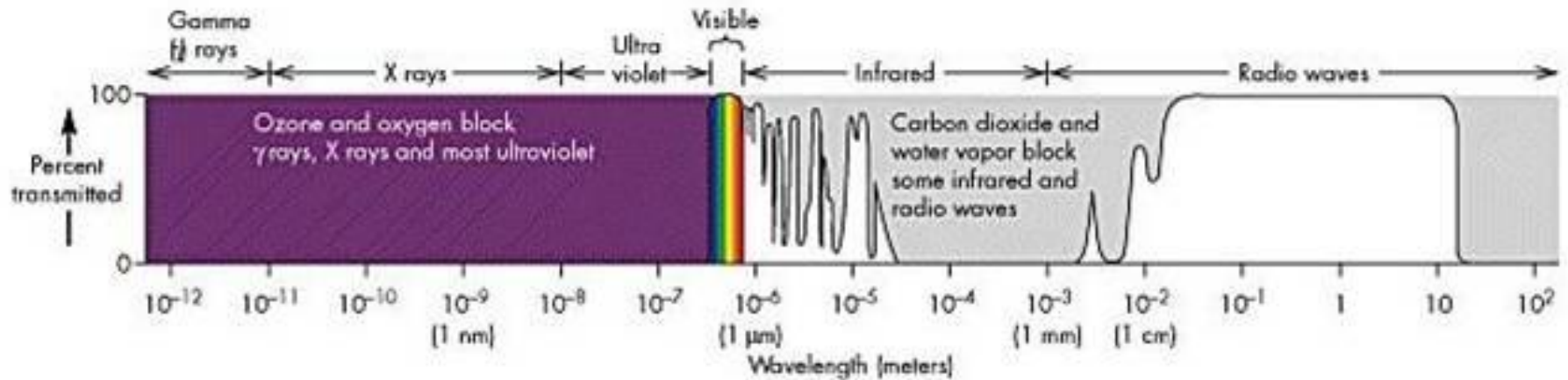
- Telescopi ottici con rivelatori per luce visibile o raggi infrarossi



- Osservatori spaziali (satelliti scientifici) per astrofisica delle alte energie (UV, raggi X, raggi γ)

I limiti delle osservazioni da Terra

- Il problema della trasparenza dell'atmosfera



- Lo sfuocamento dell'immagine (*seeing*) dovuto alla temperatura e turbolenza dell'aria
- ...e inoltre l'inquinamento luminoso !

The Virtual Observatory

- Cataloghi di oggetti e misure di quantità di interesse astrofisico raccolti in grandi banche dati, pubblicamente disponibili in rete per utilizzo professionale o didattico
- Strumenti informatici di consultazione, interrogazione e raccolta dei dati con una interfaccia utente semplificata per l'uso da parte delle scuole
- Moduli didattici basati sul VO sono stati sviluppati (in italiano!) dall'Osservatorio Astrofisico di Trieste