



Laurea triennale in Fisica
a.a. 2019 - 2020

FONDAMENTI DI ASTROFISICA

LEZIONE 1

Prof. Angelo Angeletti

angelo.angeletti@virgilio.it

www.angeloangeletti.it

PROGRAMMA

Lezioni: 41 ore (LEZIONI + ESERCITAZIONI) + 10 ore (APPROFONDIMENTI DI ASTROFISICA NUCLEARE) dott. Saltarelli = totale 6 CFU

PROVA SCRITTA

6 quesiti sui temi svolti e sull'esempio di quelli che verranno fatti o proposti durante il corso. Ogni problema vale 6 punti. Per superare la prova è necessario svolgere almeno due problemi tra i primi quattro e uno tra il 5 e il 6. La prova scritta ha validità 90 giorni.

PROVA ORALE

Il programma verrà diviso in tre blocchi e per ogni blocco verranno proposte (entro la fine del corso) 10 domande. All'esame ne verranno sorteggiate due per ogni blocco e lo studente ne sceglie una.

Tesina di approfondimento su un argomento di astrofisica a scelta anche non svolto a lezione.

PROGRAMMA

Prima parte – Generalità

- 1) Sistemi di riferimento astronomici e trasformazioni di coordinate
- 2) I movimenti della Terra
- 3) Il tempo e la sua misura
- 4) Rifrazione, aberrazione della luce, precessione e nutazione
- 5) Distanze e moti stellari

Seconda parte – Cenni di meccanica celeste

- 1) La legge della gravitazione universale di Newton e le leggi di Keplero
- 2) Il problema di Keplero
- 3) Determinazione dei parametri orbitali da tre osservazioni
- 4) Il problema dei tre corpi

Terza – Strumenti per l'astronomia

PROGRAMMA

Quarta parte – Fondamenti di astrofisica

- 1) Caratteristiche fisica delle stelle. Il Sole.
- 2) Evoluzione stellare
- 3) Pianeti extrasolari

Quinta parte – Elementi di Astrofisica Nucleare (dott. Alessandro Saltarelli)

PROGRAMMA

Calendario delle lezioni

Dip. di Fisica – Aula F

15.00 – 17.00

- | | |
|---------------|--|
| 1) mar 10.03 | 2) mer 11.03 |
| 3) mar 17.03 | 4) mar 24.03 |
| 5) mer 25.03 | 6) mer 01.04 |
| 7) mar 07.04 | 8) mer 15.04 |
| 9) mar 21.04 | 10) mer 22.04 |
| 11) mar 05.05 | 12) mer 06.05 |
| 13) mer 13.05 | 14) mar 19.05 |
| 15) mer 20.05 | 16) mar 26.05 |
| 17) mer 27.05 | 18) mer 03.06 |
| 19) mer 09.06 | 20) Serata all'Osservatorio, da definire |

PROGRAMMA

Attività di laboratorio
(presso l'Osservatorio di Monte d'Aria)

***Utilizzo del telescopio
e dei dispositivi di
acquisizione di
immagini.***

Osservazioni.



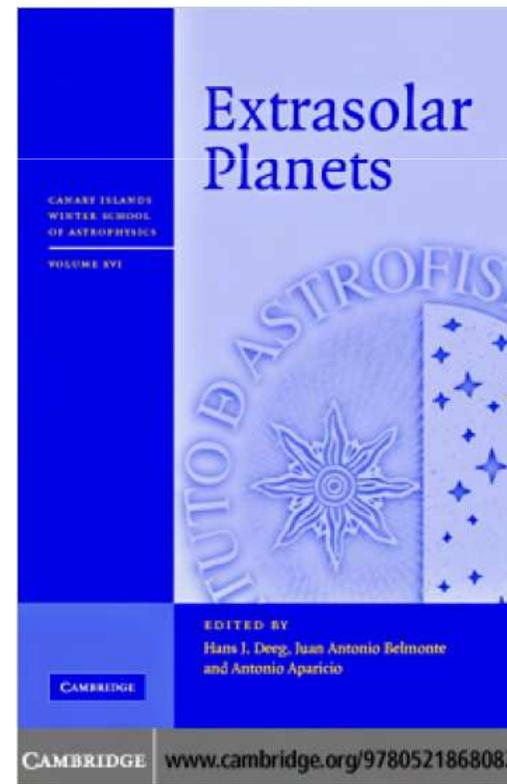
MATERIALI DI RIFERIMENTO

pdf delle diapositive Powerpoint

Appunti del docente



+ Appendice



L'informazione astronomica

Le informazioni sul mondo fisico si ottengono sostanzialmente in tre modi.

- Con l'osservazione, che corrisponde ad un modo di acquisizione passivo, l'osservatore si limita a registrare i segnali prodotti naturalmente dal sistema che si sta studiando. È il tipico caso dell'osservazione astronomica, non essendo gli oggetti astronomici, nella maggior parte dei casi, direttamente accessibili a noi.
- In laboratorio, lo sperimentatore può interagire con il sistema studiato in maniera controllata e registrarne il comportamento in funzione della variazione di diverse grandezze (temperatura, pressione, carica, ...).
- Con l'esplorazione che corrisponde a portare lo sperimentatore, o l'osservatore, più vicino possibile o addirittura all'interno dell'oggetto studiato. Questa situazione evidentemente si realizza in Astronomia nel momento in cui si effettuano viaggi interplanetari per lo studio “in situ” dei vari corpi del Sistema Solare.

L'osservazione è la più semplice delle modalità di indagine ed anche la prima con cui ci “informiamo” sul mondo che ci circonda. Questa modalità è tipica in particolare dell'Astronomia che si caratterizza quindi come una disciplina indissolubilmente legata all'osservazione.

L'informazione astronomica

Per lo studio dell'Universo ci si basa quindi sull'analisi delle informazioni che si riesce a ricavare dalle osservazioni.

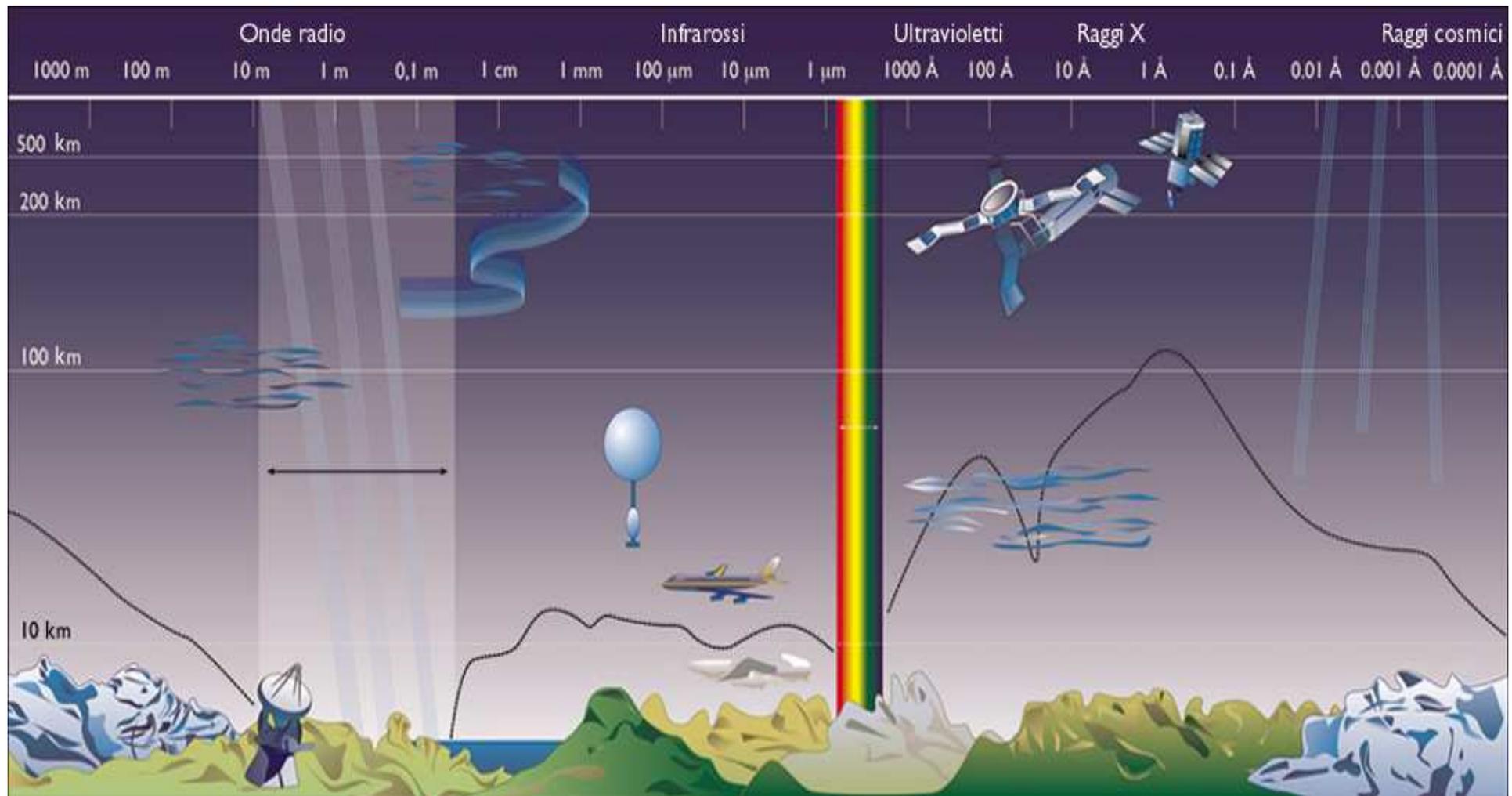
I canali attraverso cui tali informazioni arrivano oggi sono:

- Le onde elettromagnetiche, che a tutt'oggi rappresentano la fonte primaria di informazioni.
- I nuclei atomici e le particelle dotate di massa, dette genericamente raggi cosmici.
- Le onde gravitazionali, sia direttamente (coalescenza di buchi neri e stelle di neutroni) che indirettamente (variazioni di periodo di pulsar binarie)
- Gli impatti meteorici che continuamente portano sulla Terra informazioni riguardanti soprattutto il sistema Solare; è ragionevole però aspettarsi che prima o poi possano essere distinte ed individuate anche particelle di origine extra-solare.

L'informazione astronomica

L'atmosfera terrestre diffonde e assorbe le radiazioni elettromagnetiche in modo più o meno completo a seconda della lunghezza d'onda della radiazione incidente.

L'atmosfera è trasparente tra 300 nm e 1000 nm circa e nelle onde radio da 5 mm a 50 m circa.



Astronomia

Dal greco *αστρον* (astro) e *νομος* (legge), è la scienza che studia le posizioni relative, il moto, la struttura e l'evoluzione degli astri.

Diverse discipline concorrono oggi allo studio dell'Universo.

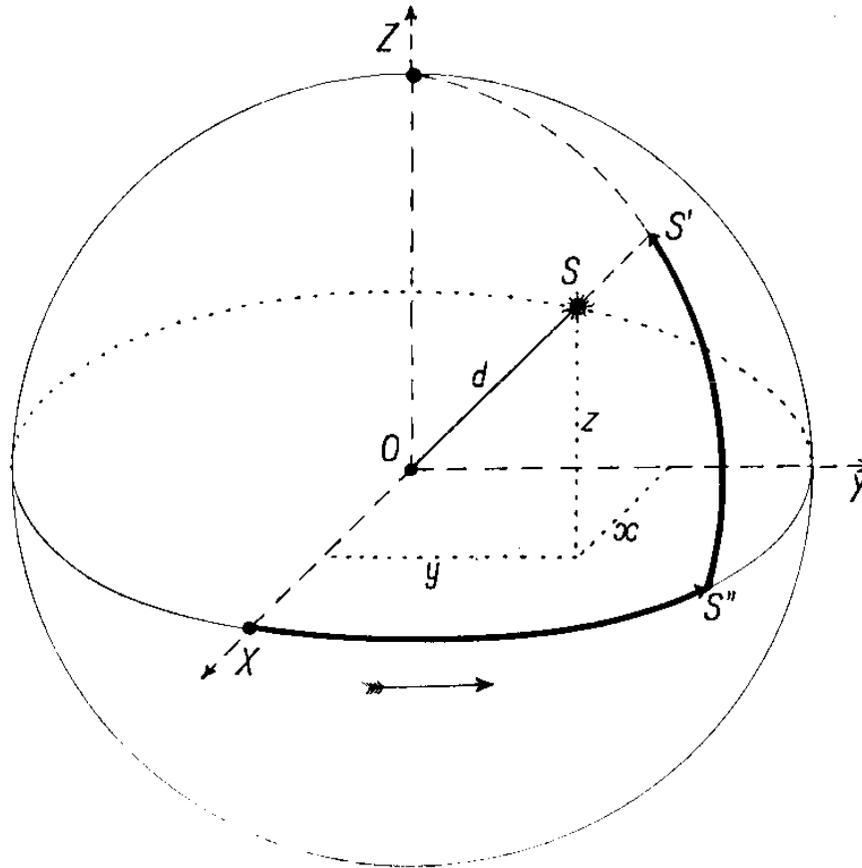
- L'Astronomia di posizione o Astrometria (è la più antica)
 - La Meccanica Celeste
- (insieme costituiscono l'Astronomia fondamentale o classica).

Nella seconda metà del XIX secolo è nata l'Astronomia Moderna:

- L'Astrofisica (studia la fisica e l'evoluzione degli oggetti dell'Universo):
 - Astrofisica delle alte energie (studio dell'irraggiamento γ , X e ultravioletto)
 - Astrofisica delle basse energie (irraggiamento nel visibile, infrarosso e radio).
- Un'altra distinzione viene fatta tra:
- Cosmogonia che studia la formazione e l'evoluzione dei corpi celesti particolari (stelle, pianeti, galassie, ecc)
 - Cosmologia che cerca di spiegare la formazione e l'evoluzione dell'Universo considerato nella sua totalità.
- L'Astrochimica (si interessa della chimica extraterrestre)
 - La Bioastronomia o Esobiologia o Astrobiologia che studia la possibilità di vita nel cosmo.

L'Astronomia di posizione o Astrometria

La sfera celeste



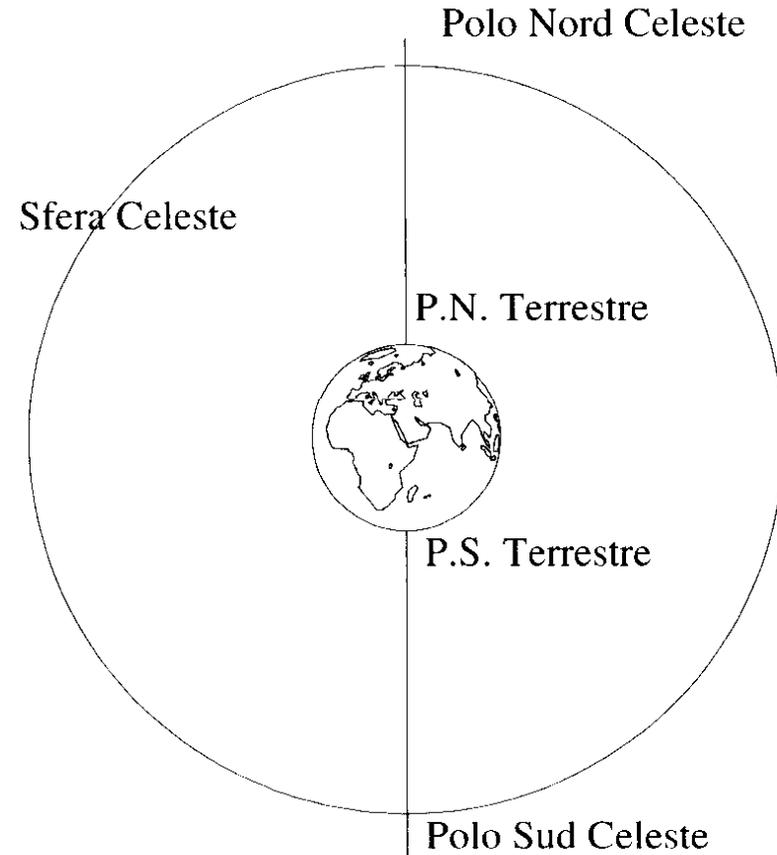
La sfera celeste

POLI CELESTI: punti fissi della volta celeste attorno ai quali essa sembra ruotare.

ASSE DEL MONDO: retta che congiunge i poli celesti

POLO NORD CELESTE: punto di rotazione della sfera celeste nell'emisfero nord

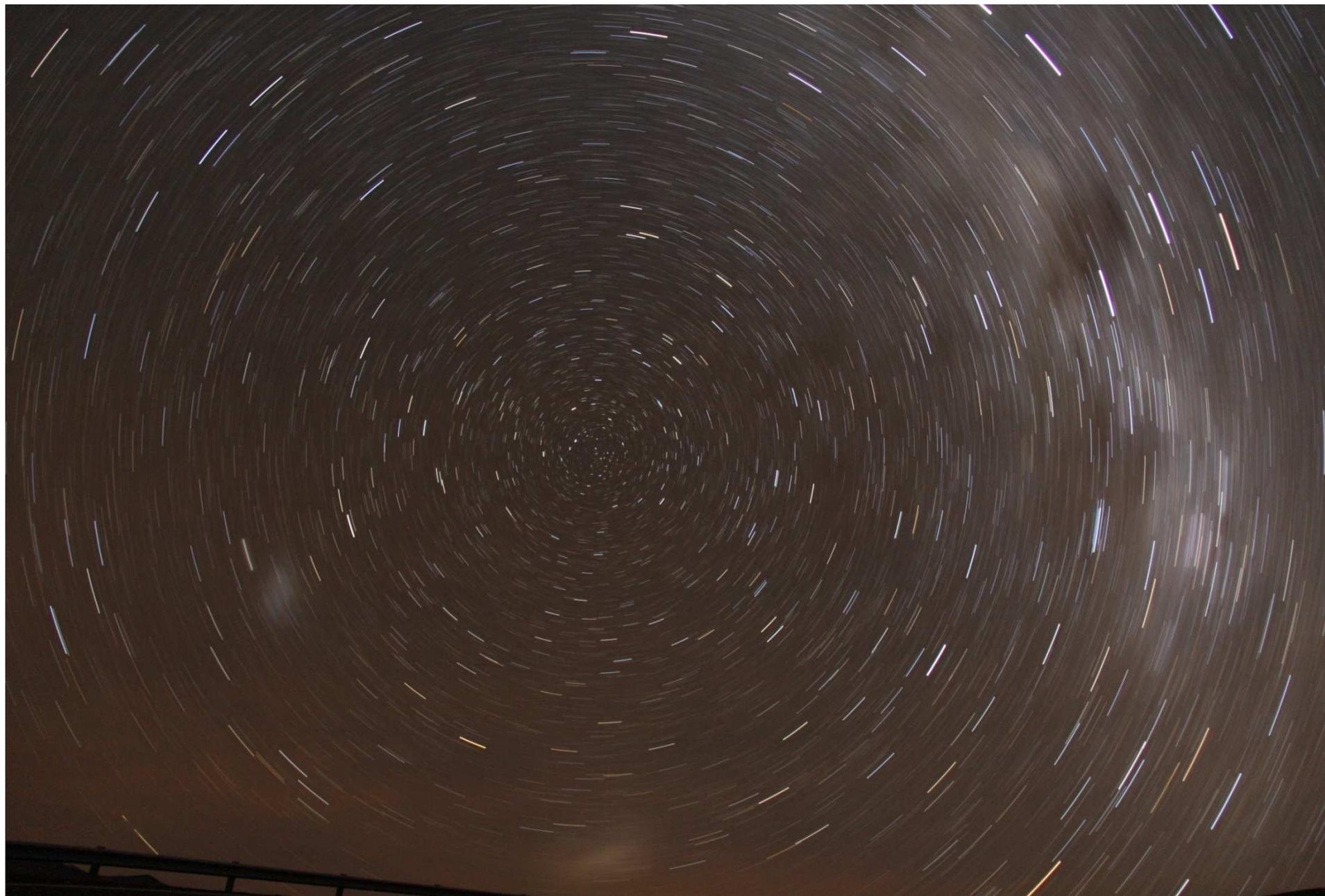
POLO SUD CELESTE: punto di rotazione della sfera celeste nell'emisfero sud.



Rotazione della volta celeste - Nord



Rotazione della volta celeste - Sud



Rotazione della volta celeste - Ovest



Rotazione della volta celeste - Est



La sfera celeste

ORIZZONTE CELESTE: proiezione dell'orizzonte dell'osservatore sulla sfera celeste.

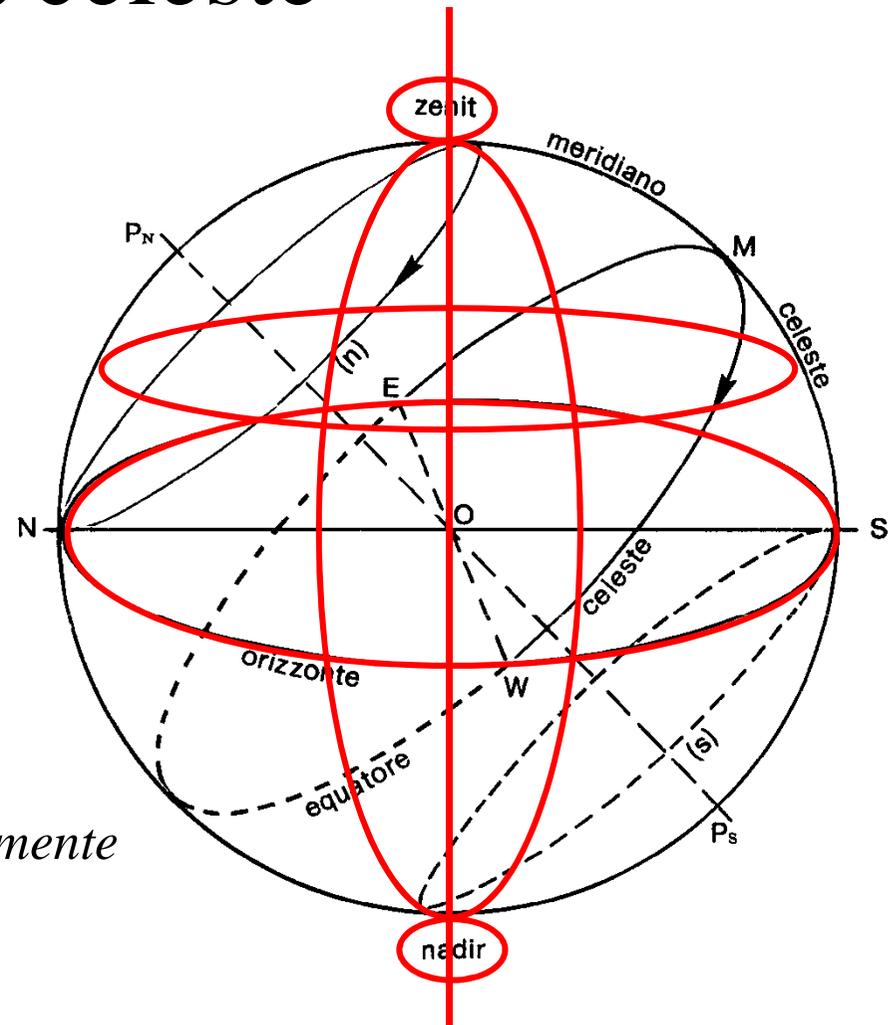
VERTICALE ASTRONOMICA: retta verticale per l'osservatore all'orizzonte celeste = direzione del filo a piombo.

ZENIT: punto della sfera celeste in cui la verticale celeste incontra la sfera celeste sopra l'osservatore.

NADIR: punto della sfera celeste diametralmente opposto allo Zenit.

CERCHI DI ALTEZZA: cerchi di intersezione di piani paralleli all'orizzonte celeste con la sfera celeste.

CERCHI VERTICALI: cerchi massimi della sfera celeste ottenuti dalla intersezione con piani verticali



La sfera celeste

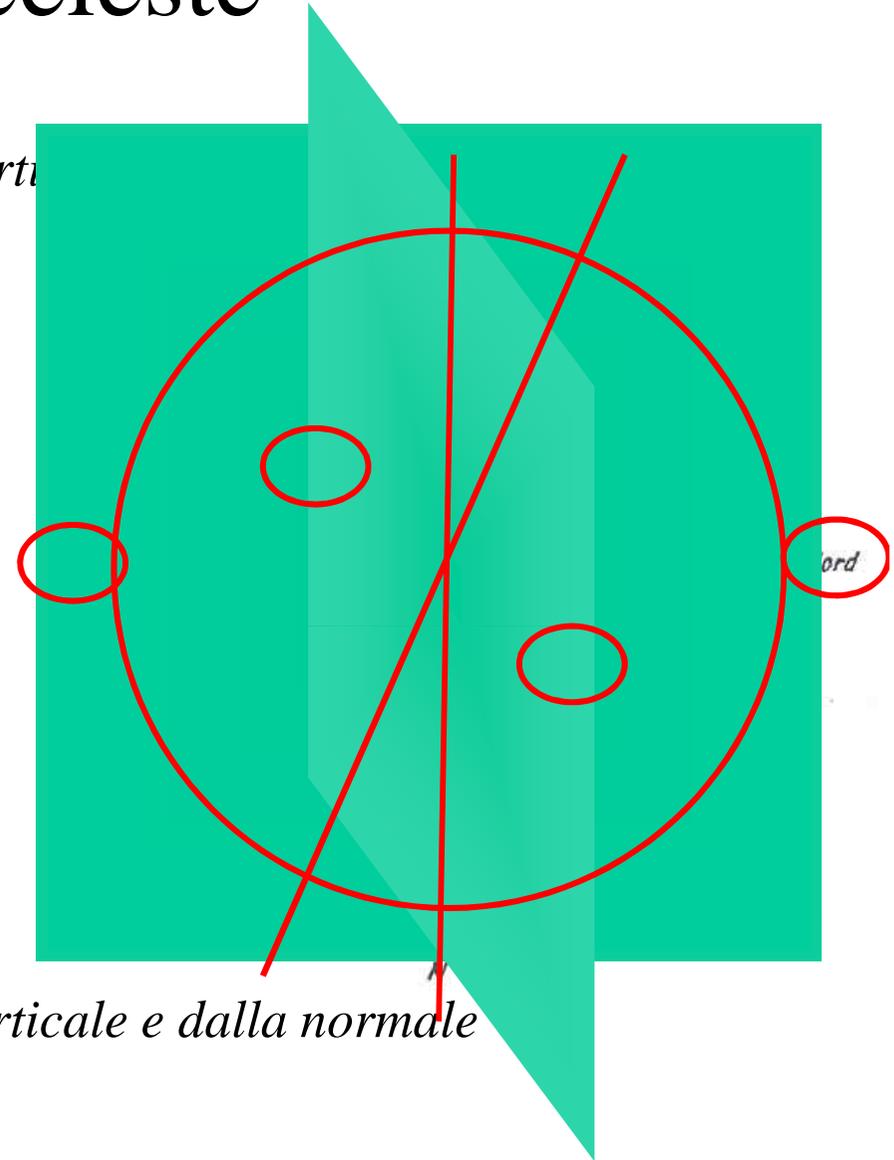
PIANO MERIDIANO: piano definito dalla verticale astronomica e dall'asse del mondo.

MERIDIANO CELESTE: circonferenza della sfera celeste definito dell'intersezione con il piano meridiano.

La sua intersezione con l'orizzonte celeste definisce il Nord (dalla parte del Polo Nord Celeste) e il Sud (dalla parte del Polo Sud Celeste)

PRIMO VERTICALE: piano definito dalla verticale e dalla normale per O al piano meridiano.

La sua intersezione con l'orizzonte celeste definisce l'Est e l'Ovest, disposti in senso orario da Nord verso Sud.



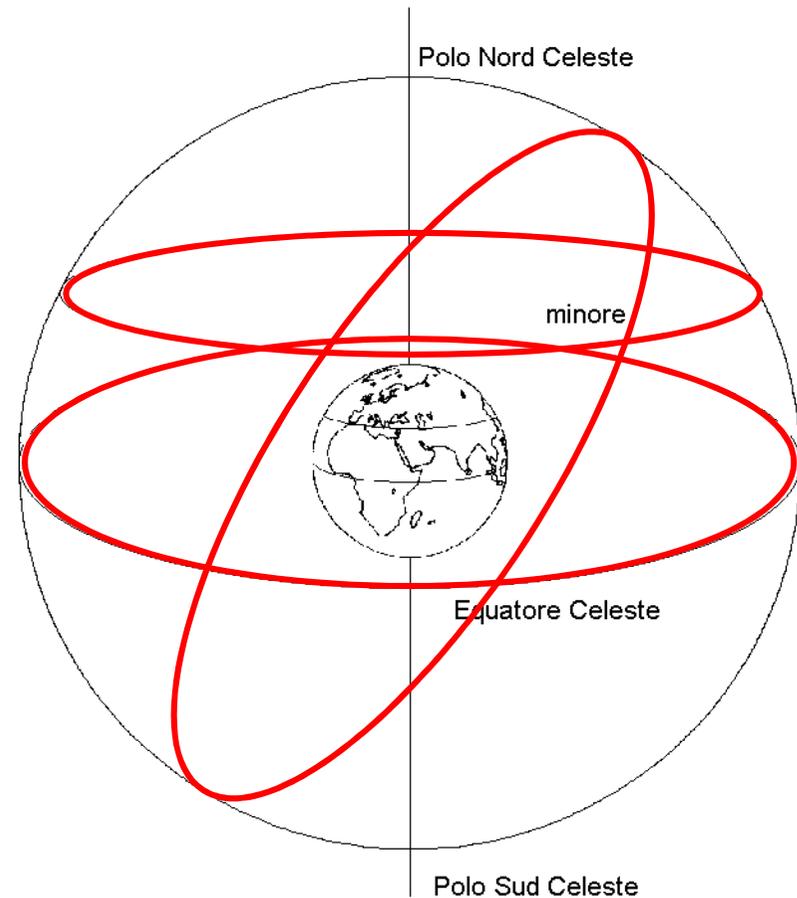
La sfera celeste

CERCHIO MASSIMO: *intersezione di un piano passante per il centro con la sfera celeste.*

CERCHI MINORI: *cerchi determinati da piani non passanti per il centro.*

EQUATORE CELESTE: *proiezione dell'equatore terrestre sulla sfera celeste, ovvero intersezione del piano perpendicolare all'asse del mondo.*

MEZZOCIELO: *punto di intersezione dell'equatore celeste con il meridiano celeste*



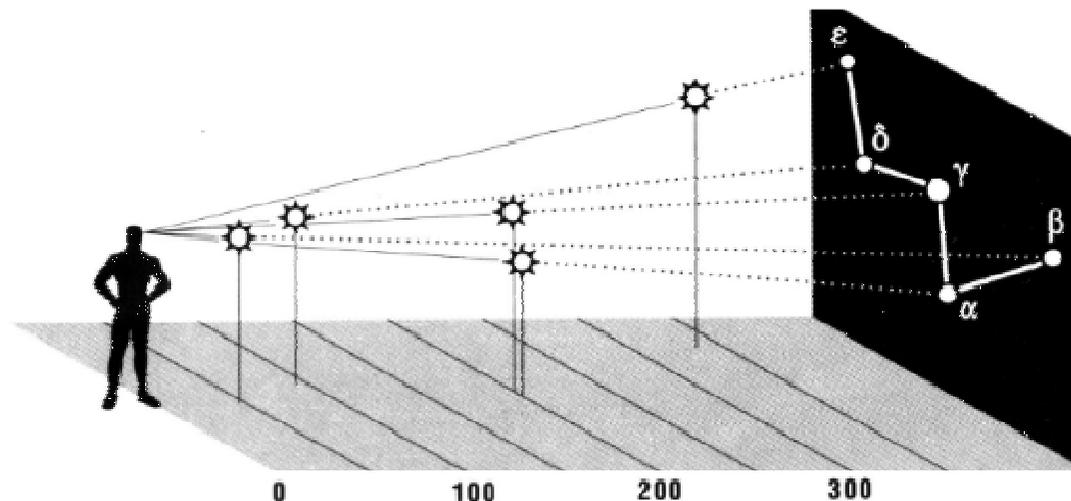
Le costellazioni

Le costellazioni sono raggruppamenti arbitrari di stelle, sulla sfera celeste.

Rappresentano ognuna delle 88 parti in cui la sfera celeste è convenzionalmente suddivisa allo scopo di mappare le stelle.

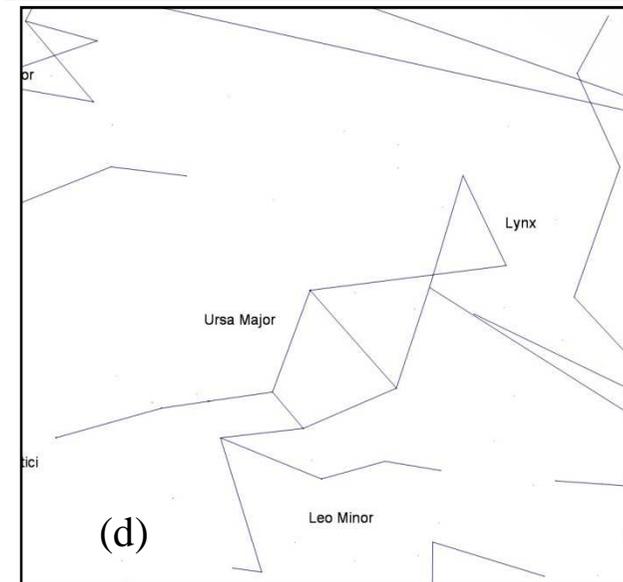
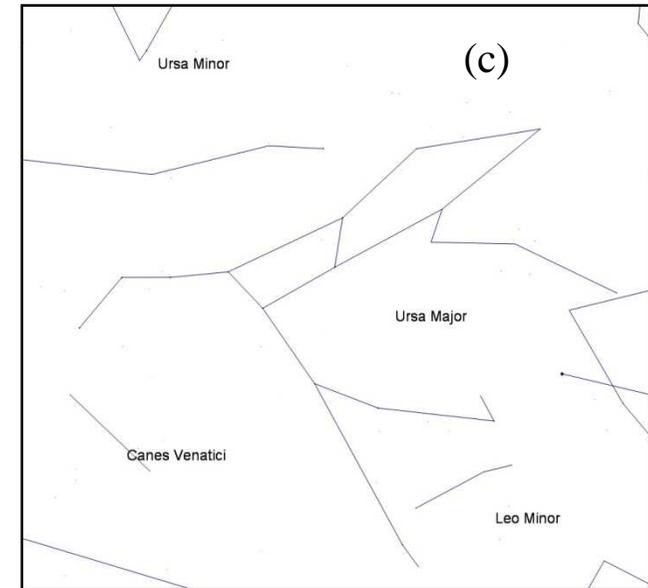
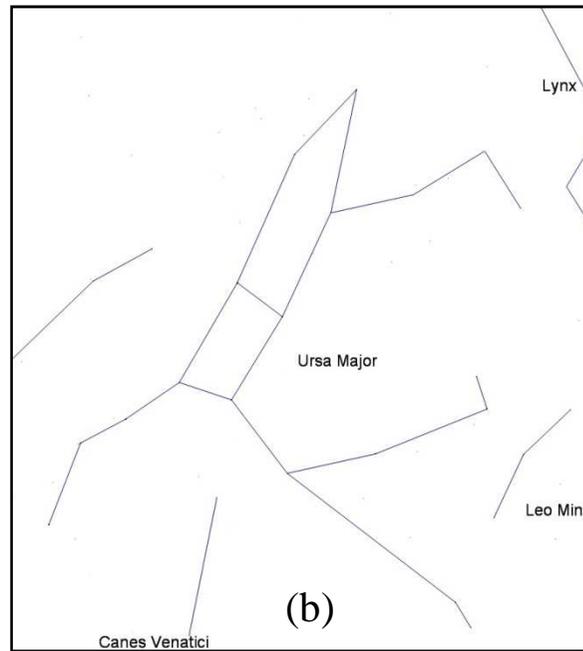
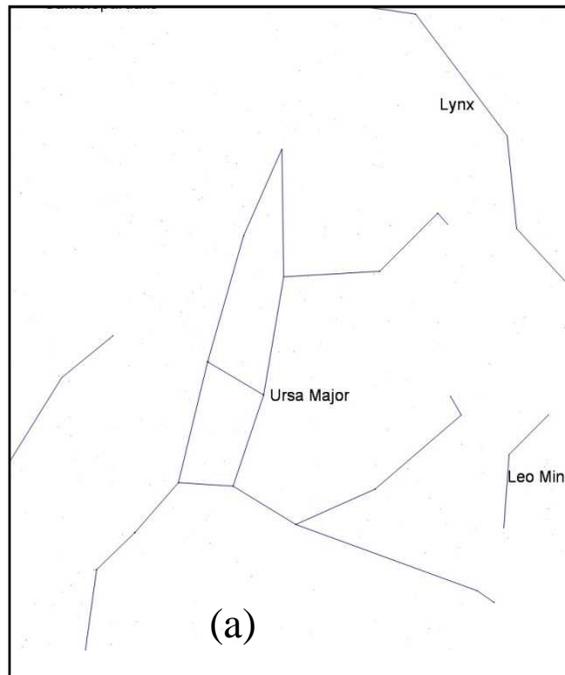
Una costellazione "ufficiosa" si chiama *asterismo* (ad esempio il Grande Carro)

Sono delle entità esclusivamente prospettiche, a cui non si riconosce alcun reale significato, infatti nello spazio tridimensionale le stelle di una stessa costellazione possono essere separate anche da distanze enormi.



Le costellazioni

La forma della costellazione dipende dall'osservatore



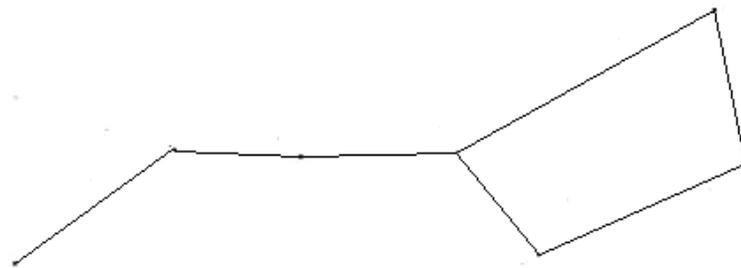
Orsa Maggiore:

(a) dalla Terra, (b) da α Centauri, (c) da Sirio, (d) da Vega

Le costellazioni

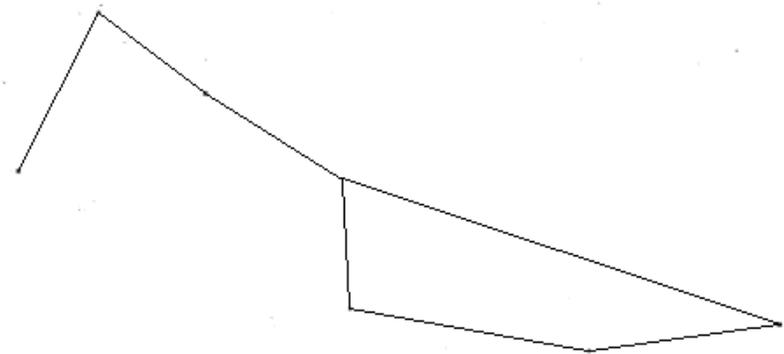
Nel corso del tempo sono state definite costellazioni differenti, alcune sono state aggiunte, altre sono state unite tra di loro.

Nel corso del tempo, a causa del moto proprio delle stelle, le costellazioni cambiano forma.



Il Grande Carro oggi

Tra 100 000 anni



Le costellazioni

L'IAU (International Astronomical Union) provvede all'assegnazione dei nomi delle stelle e degli altri corpi celesti.

La maggior parte delle stelle poco brillanti, e quasi tutte quelle non visibili ad occhio nudo, non hanno nome e per riferirsi ad esse si usano sigle o numeri di catalogo.

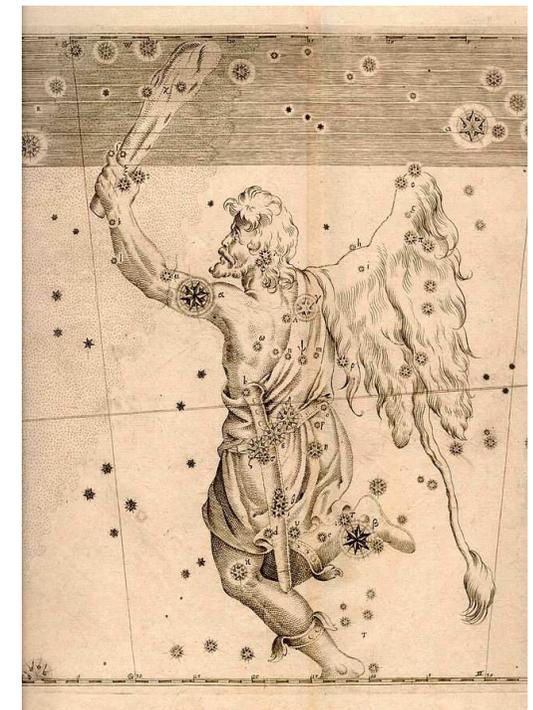
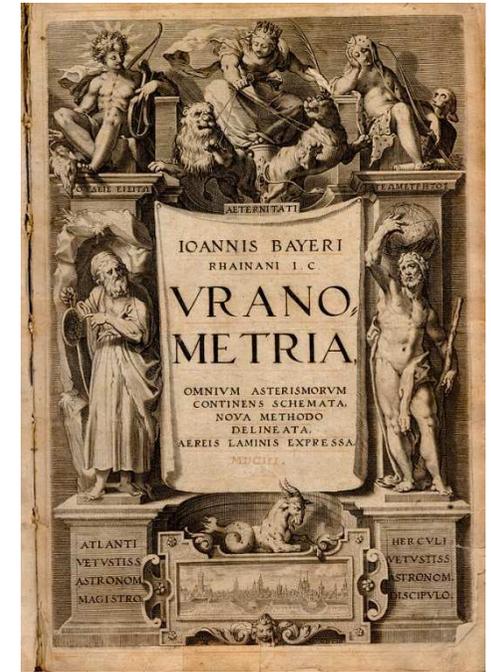
Molte delle stelle più brillanti, o interessanti per altri motivi, hanno nomi propri. La maggior parte deriva dall'arabo, ma ci sono alcuni nomi derivati dal latino, dal greco e da altre fonti, tra cui anche l'inglese.

Le costellazioni

Nel 1603 l'astronomo tedesco Johann Bayer (1572 – 7 marzo 1625), pubblicò il primo atlante stellare completo: Uranometria.

Introdusse un sistema di nomenclatura per le stelle più brillanti di ogni costellazione: una lettera dell'alfabeto greco, seguita dal nome latino della costellazione (per esempio Betelgeuse è alpha Orionis), a partire dalla stella più luminosa (al posto del nome della costellazione, quando si scrive si mette un'abbreviazione di tre lettere, per esempio α Ori è alfa Orionis).

Il sistema di Bayer è ancora oggi molto usato.



Le costellazioni

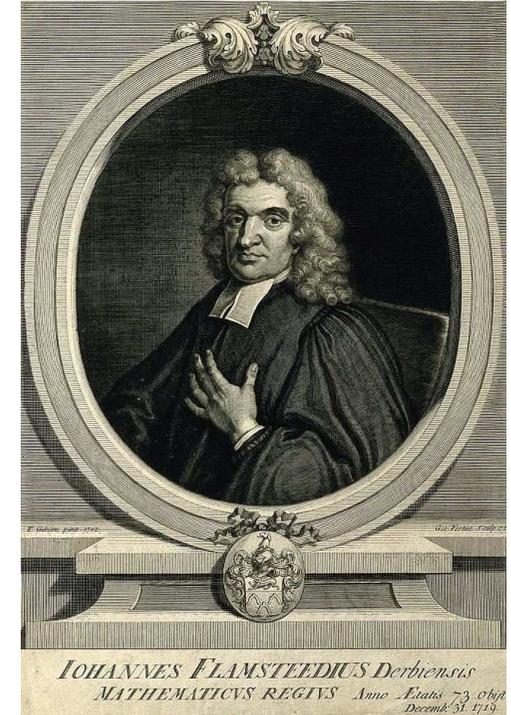
Flamsteed (Denby, 19 agosto 1646 – Greenwich, 12 gennaio 1719) ideò un sistema per assegnare nomi alle stelle simile a quello di Bayer, ma che usa i numeri.

Ad ogni stella è assegnato un numero, più il genitivo latino del nome della costellazione in cui si trova.

Per ogni costellazione il conto ricomincia da 1.

I numeri furono originariamente assegnati alle stelle in base alla loro posizione (in ordine crescente di Ascensione Retta in ogni costellazione), ma a causa degli effetti della precessione e dei moti propri stellari, alcune oggi sono in ordine sbagliato.

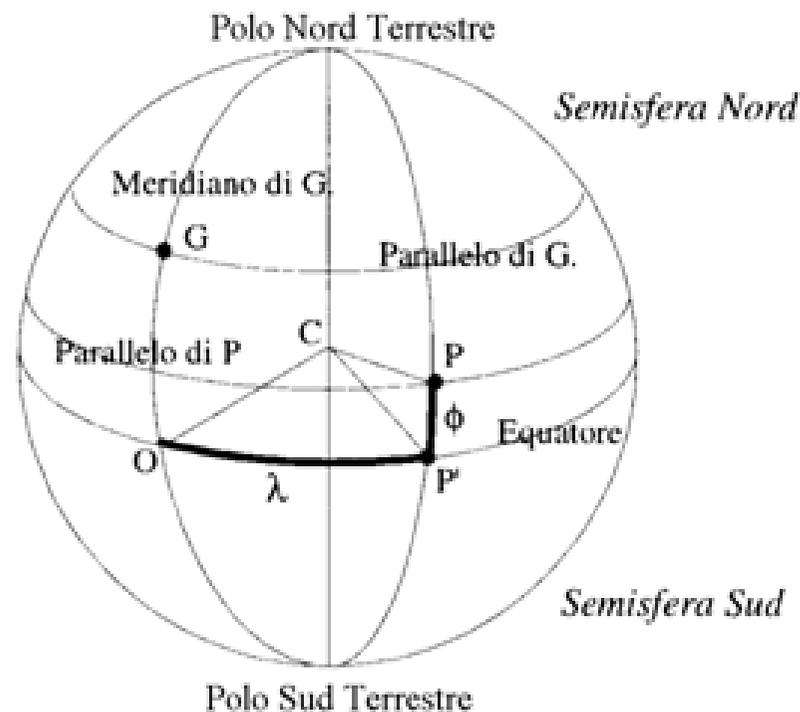
Esempi: 51 Pegasi (la prima stella intorno alla quale è stato riconosciuto un pianeta) e 61 Cygni (la prima stella di cui si è misurata la parallasse).



Coordinate geografiche

Sulla sfera terrestre, siano N e S i poli Nord e Sud rispettivamente.

Definiamo **paralleli** tutti e soli i cerchi ottenuti dall'intersezione di piani paralleli all'Equatore con la sfera terrestre. Su usa il termine paralleli nord per i cerchi contenuti nella semisfera che contiene il polo Nord, e paralleli sud per quelli contenuti nell'emisfero Sud. Indichiamo i paralleli Nord anche premettendo +, e i paralleli Sud premettendo –



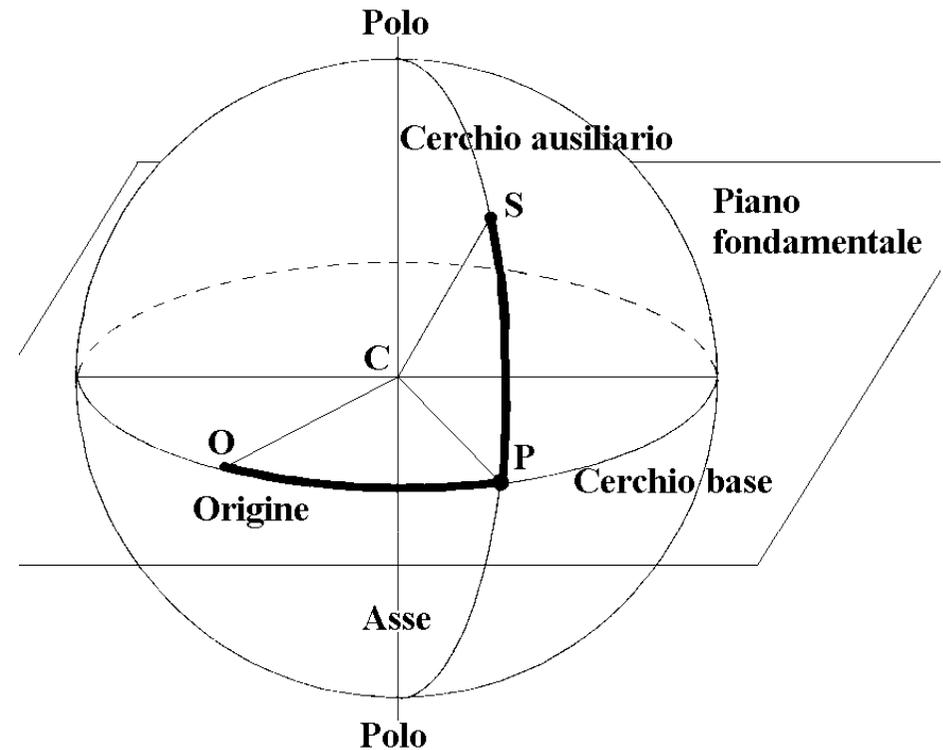
I **meridiani** sono tutti i cerchi massimi passanti per entrambi i Poli, li indicheremo con un numero a partire da un meridiano scelto come meridiano zero, positivo in un determinato verso di percorrenza, negativo nell'altro.

Per determinare la posizione di P sulla sfera è basta misurare l'angolo OCP', indicato con λ , è la **longitudine** di P, e l'angolo P'CP, indicato con ϕ , è la **latitudine** di P.

Coordinate celesti

Per determinare un sistema di riferimento sulla sfera celeste:

- 1) Si sceglie un asse (che determina i poli, il piano fondamentale, il cerchio base e i cerchi ausiliari).
- 2) Sul cerchio base si sceglie l'origine O e un verso di percorrenza.
- 3) Dato un punto S sulla superficie sferica si traccia il cerchio ausiliario passante per esso che determina il punto P intersezione del cerchio ausiliario col cerchio base.
- 4) Dall'origine, sul cerchio base, verso P si determina l'ascissa sferica.
- 5) Da P, lungo il cerchio ausiliario, verso S si determina l'ordinata sferica.



Due tipi di sistemi di coordinate:
locali e **assoluti** .

Locali: **sistema altazimutale** e **sistema orario**
o **equatoriale locale** .

Assoluti: **sistema equatoriale assoluto**,
sistema eclitticale e **sistema galattico**

Coordinate celesti

SISTEMA ALTAZIMUTALE

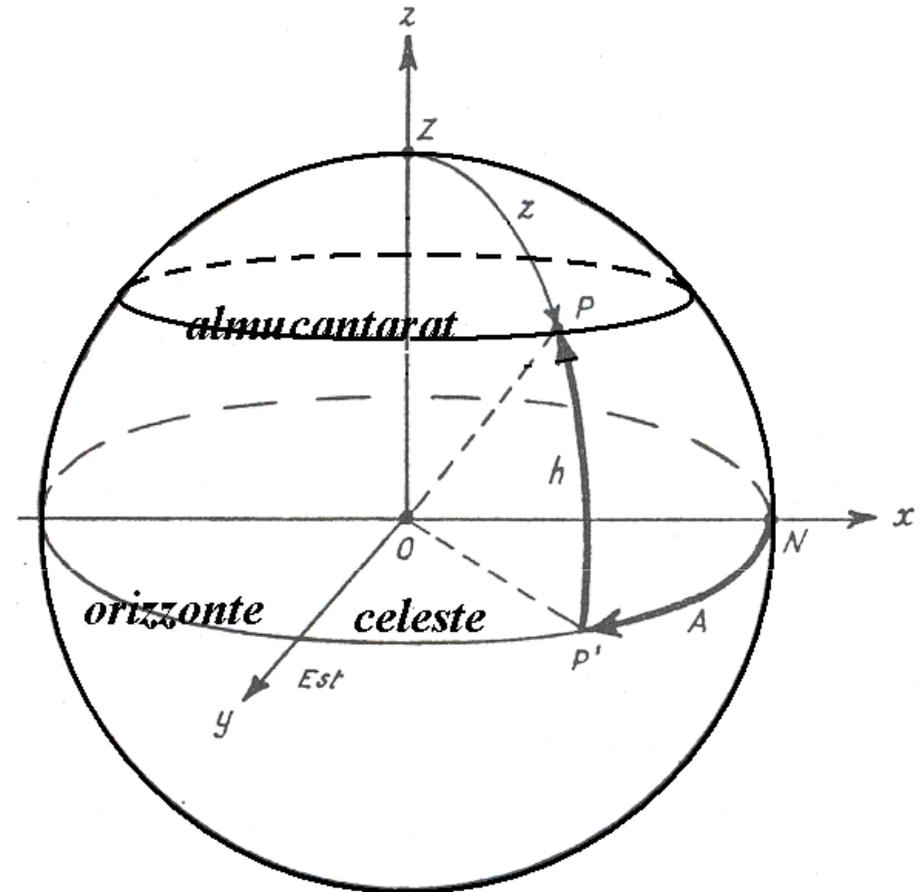
Per indicare la posizione di un astro S occorrono: l'**altezza** (h) e l'**azimut** (A).

L'altezza è l'arco di cerchio verticale compreso fra S ed il punto in cui tale cerchio taglia l'orizzonte; l'azimut è l'arco di orizzonte compreso fra il punto sud ed il punto in cui il meridiano taglia l'orizzonte.

L'altezza si conta da 0° (orizzonte astronomico) fino a $+90^\circ$ (zenit) e fino a -90° (nadir).

Le altezze negative indicano astri sotto l'orizzonte.

L'azimut va da 0° (punto nord) fino a 360° (che è nuovamente il punto nord) nel senso **Est, Sud, Ovest** che hanno rispettivamente azimut 90° , 180° e 270° .



Coordinate celesti

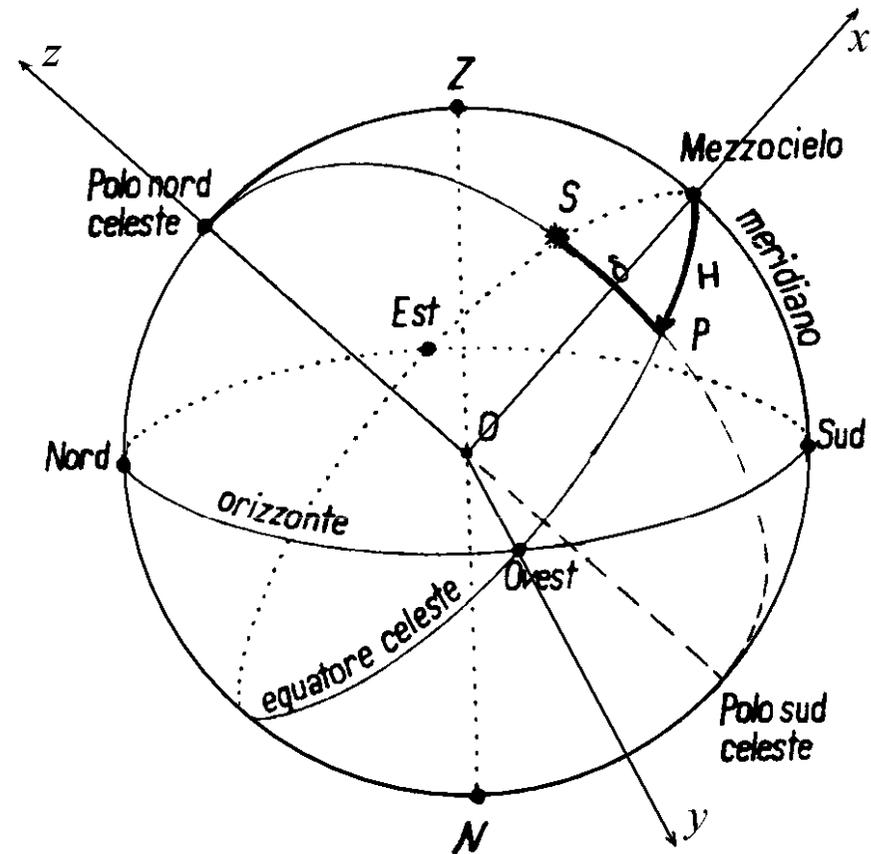
SISTEMA ORARIO O EQUATORIALE LOCALE

Le coordinate di un astro S sono dette **declinazione** (δ) ed **angolo orario** (H).

La declinazione è l'arco di cerchio compreso fra S e l'equatore; si misura in gradi dall'equatore (+ verso il polo nord, - verso il polo sud). Analogamente alla latitudine sulla Terra, la declinazione dei poli celesti nord e sud è rispettivamente $+90^\circ$ e -90° , e quella dell'equatore è 0° .

L'angolo orario si misura in gradi, da zero a 360° , in verso orario a partire dal mezzocielo.

Dato l'evidente legame con la rotazione della terra, l'angolo orario si misura anche in ore.

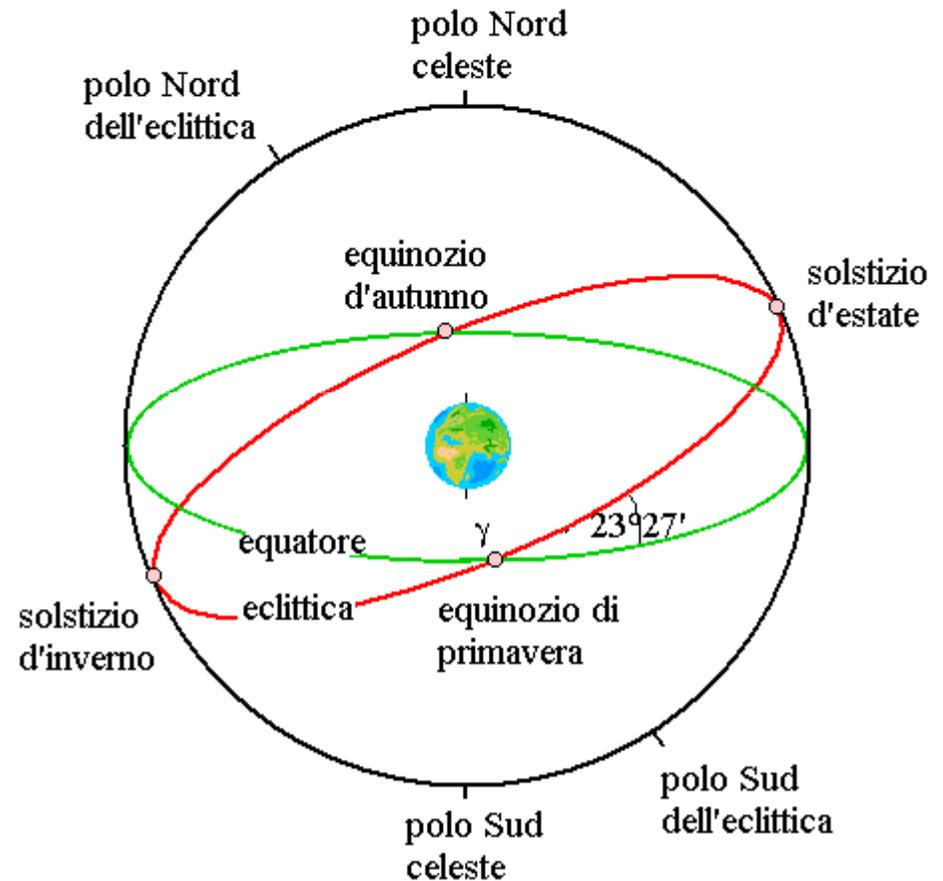


Eclittica

Nel corso di un anno il Sole descrive apparentemente sulla sfera celeste un cerchio massimo che prende il nome di ***eclittica*** (dell'epoca).

Il moto del Sole appare avvenire lungo le dodici costellazioni dello zodiaco.

Il punto in cui l'eclittica interseca l'equatore celeste, nel verso ascendente si chiama ***primo punto d'Ariete*** o ***punto vernale*** o ancora ***punto gamma γ*** .

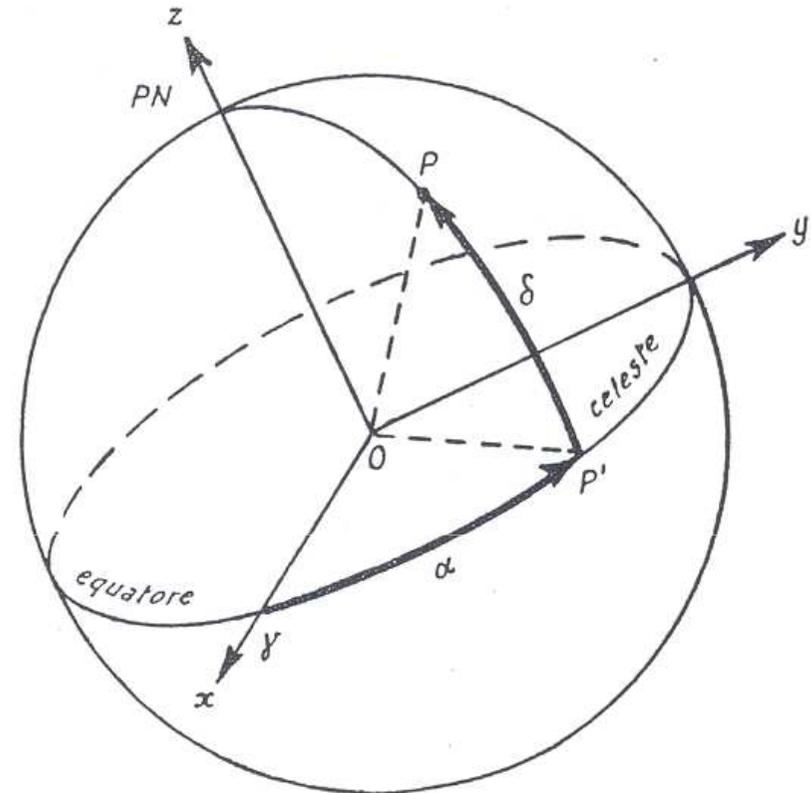


Coordinate celesti

SISTEMA EQUATORIALE (ASSOLUTO)

Gli elementi di riferimento sono quelli già introdotti nel sistema di coordinate equatoriali locali, tuttavia la terna di assi cartesiani con origine in O ora ha l'asse x diretto verso un punto fisso della sfera celeste (il punto γ) e la terna è ora levogira.

Il punto fisso è ancora il **punto gamma γ** .



In realtà il punto γ non è fisso a causa della precessione degli equinozi e quindi si ha una variazione delle coordinate equatoriali.

È necessario far riferimento alla posizione di γ ad una data epoca.

Ogni punto P (poli esclusi) della sfera celeste rimane individuato dagli angoli $\gamma\hat{O}P'$ e $P'\hat{O}P$, rispettivamente detti **ascensione retta (α)** e **declinazione (δ)**.

L'ascensione retta si misura in verso antiorario (o diretto) in ore da zero a 24 h, la declinazione come già detto.

Coordinate celesti

Quando un astro transita al meridiano, il suo angolo orario è zero. Un'ora dopo la volta celeste avrà ruotato di un arco di 15° ($= 360^\circ/24$ ore) e l'angolo orario dell'astro sarà pari a 1 h o 15° .

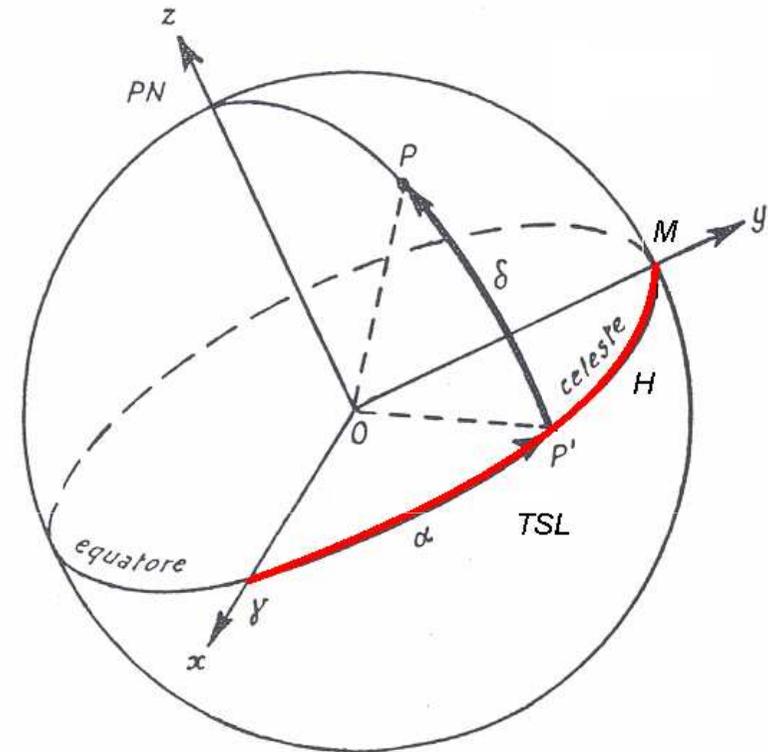
Anche il punto γ ha un proprio valore dell'angolo orario che varia nel tempo che viene chiamato **Tempo Siderale Locale (TSL** o anche t_s).

Il TSL è la somma dei valori assoluti degli archi $\gamma P'$ (l'ascensione retta dell'astro) e $P'M$ (l'angolo orario H dell'astro). Si ricava una importante relazione:

$$\text{TSL} = H + \alpha.$$

È evidente che lo zenit dell'osservatore ha declinazione uguale alla latitudine geografica e ascensione retta uguale al TSL. Da ciò si ricava anche che:

per conoscere il tempo siderale locale è sufficiente conoscere l'ascensione retta della stella che transita al meridiano locale in quel momento.



Coordinate celesti

SISTEMA ECLITTICO

Nel sistema di coordinate eclittiche gli elementi di riferimento sono l'eclittica (dell'epoca) e la perpendicolare all'eclittica stessa.

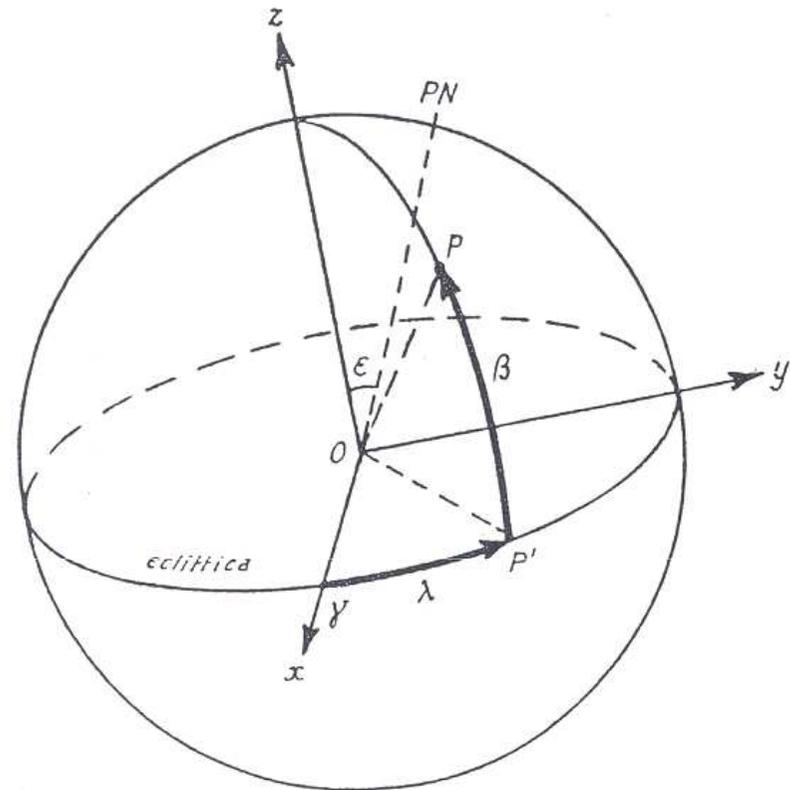
La terna cartesiana con origine in O è levogira con l'asse x diretto verso il punto γ .

Ogni punto P sulla sfera celeste (esclusi i poli dell'eclittica) è individuato dagli angoli $\gamma\hat{O}P'$ e $P'\hat{O}P$, detti rispettivamente **longitudine eclittica** λ e **latitudine eclittica** β e misurati entrambi in gradi, il primo da zero a 360° (in verso antiorario) e il secondo da zero a $\pm 90^\circ$ a seconda che P sia sopra o sotto l'eclittica.

Risulta che il polo Nord ha coordinate eclittiche $\lambda = 90^\circ$ e $\beta = 90^\circ - \varepsilon$.

L'angolo ε ($=23^\circ 27'$) è **obliquità dell'eclittica** e varia nel tempo, di conseguenza variano le coordinate eclittiche. Si deve far riferimento all'eclittica di una data epoca.

Il sistema è utile in tutti i problemi di astronomia planetaria poiché i pianeti si muovono attorno al Sole su orbite quasi complanari con l'eclittica.

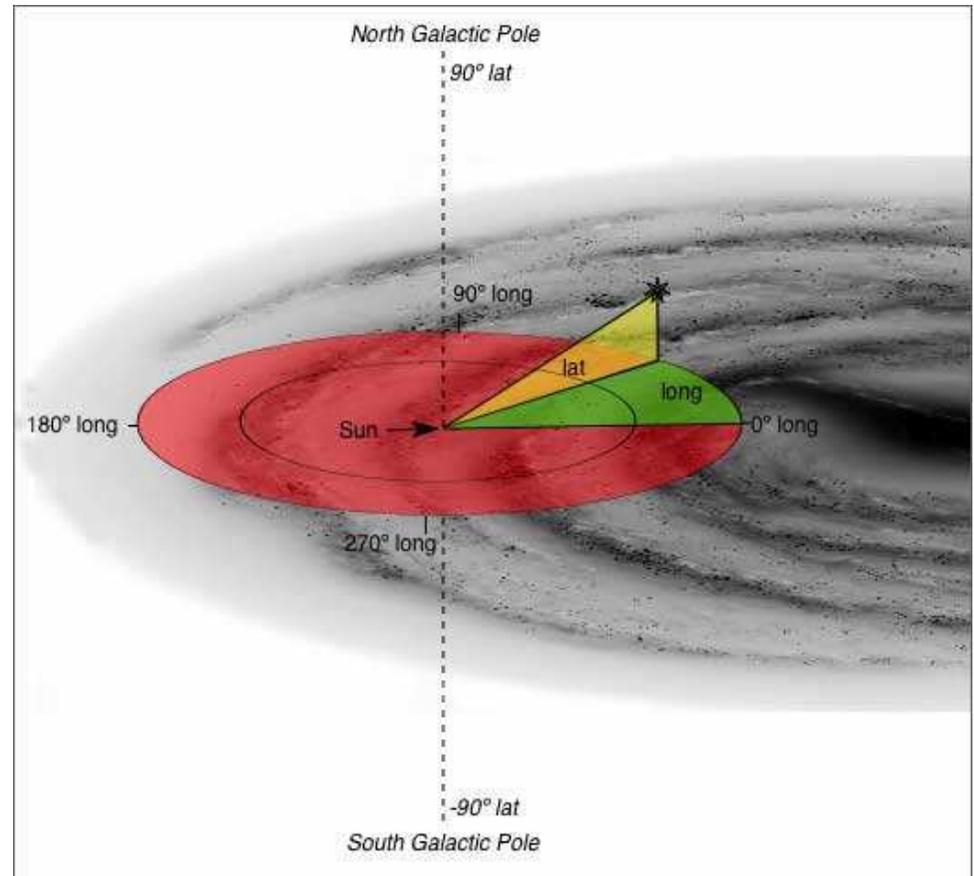


Coordinate celesti

SISTEMA GALATTICO

Gli elementi di riferimento sono il piano equatoriale della Galassia e la sua perpendicolare.

Questo piano fu definito in due momenti successivi, dapprima mediante conteggi stellari, e successivamente, nel 1976, come piano di massima emissività della riga 21 cm dell'idrogeno neutro interstellare.



Coordinate celesti

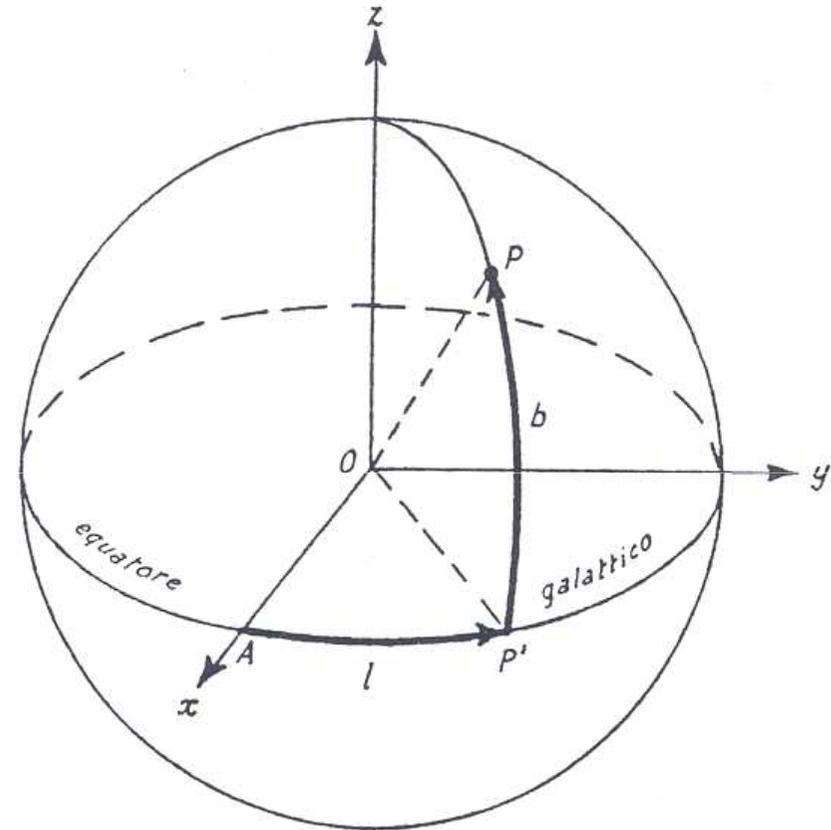
SISTEMA GALATTICO

Il polo nord galattico è definito alle coordinate equatoriali

$\alpha = 12\text{h } 49\text{m}$ e $\delta = 27^\circ 24'$ al 1950

e si trova nella costellazione della Coma.

La tema cartesiana di riferimento con origine nell'osservatore O è levogira con l'asse x orientato verso il centro galattico, che è localizzabile in prossimità della radiosorgente Sagittarius A e che ha coordinate $\alpha = 17\text{h } 42\text{m},4$ e $\delta = -28^\circ 55'$ (sempre al 1950)



Coordinate celesti

SISTEMA GALATTICO

Il sistema, riferito al 2000 ha il polo nord galattico a $\alpha = 12^{\text{h}} 51^{\text{m}} 26,282^{\text{s}}$, $\delta = +27^{\circ} 07' 42,01''$.

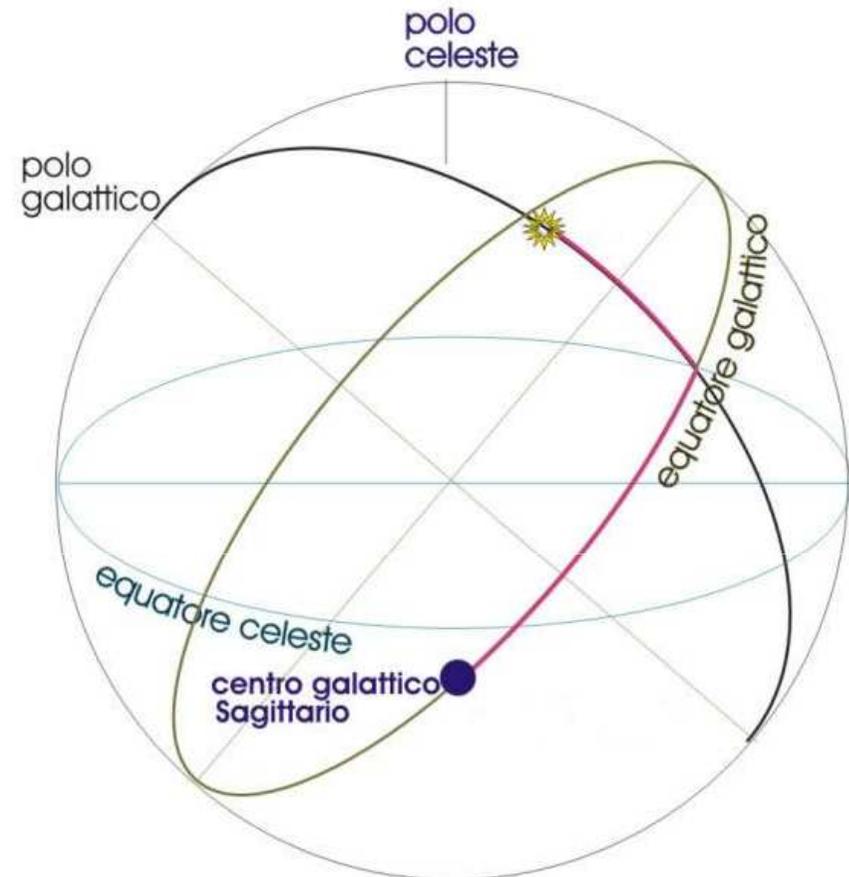
Il punto del cielo in cui sia latitudine che longitudine sono pari a 0 è $\alpha = 17^{\text{h}} 45^{\text{m}} 37,224^{\text{s}}$, $\delta = -28^{\circ} 56' 10,23''$ (sempre al 2000).

Gli angoli $A\hat{O}P'$ e $P'\hat{O}P$, che individuano il punto P sulla sfera celeste, sono nell'ordine la longitudine galattica l (elle) e la latitudine galattica b.

Entrambe si misurano in gradi, la prima da zero a 360° in verso antiorario, la seconda da zero a $\pm 90^{\circ}$ a seconda che P sia sopra o sotto l'equatore galattico.

Il sistema è utilizzato per in tutti i problemi che coinvolgono la localizzazione di oggetti nella Galassia.

Il piano galattico è inclinato di $62,3^{\circ}$ rispetto all'equatore celeste.



Coordinate celesti



COORDINATE	Circonferenza fondamentale	Origine	Verso	Polo	Nomi	Simboli
Orizzontali (Altazimutali)	orizzonte	Nord	N→E	zenit	azimut altezza	A h
Orarie (Equatoriali Locali)	equatore	Mezzocielo superiore	retrogrado	Polo Nord	angolo orario declinazione	H, t δ
Equatoriali (Assolute)	equatore	γ	diretto	Polo Nord	ascensione retta declinazione	α δ
Eclittiche	eclittica	γ	diretto	Polo Nord eclittica	longitudine ecl. latitudine ecl.	λ β
Galattiche	equatore galattico	definizione convenzionale	diretto	definizione convenzionale	longitudine gal. latitudine gal	l b